

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med dent. Reinhard Hickel



**Erfolgsraten von Wurzelkanalbehandlungen in  
der studentischen Ausbildung:  
Eine prospektive Kohortenstudie der Semester 2013-2017**

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

vorgelegt von

Eileen Noa Kaspi  
aus München  
2022

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Daniel Edelhoff Priv. Doz. Markus Pfirrmann Prof. Dr. Andrea Wichelhaus
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. dent. Christian Diegritz
Dekan:	Prof. Dr. med. Thomas Gudermann
Tag der mündlichen Prüfung:	08.12.2022

Widmung

Von Herzen für MaPa.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Endodontie	2
1.2	Anatomie des Wurzelkanalsystems	2
1.3	<b>Pulpale und periradikuläre Erkrankungen</b>	<b>3</b>
1.3.1	Ätiologie und Ursachen	3
1.3.2	Prävalenz apikaler Parodontitiden	5
1.4	<b>Endodontischer Behandlungsablauf</b>	<b>5</b>
1.5	<b>Radiologie in der Endodontie</b>	<b>8</b>
1.5.1	Zahnfilm	9
1.5.2	Orthopantomogramm (OPT)	10
1.5.3	Digitale Volumetomografie (DVT)	11
1.6	<b>Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne</b>	<b>12</b>
1.7	<b>Einflussfaktoren auf die Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne</b>	<b>13</b>
1.7.1	Präendodontischer Zustand des Zahnes	13
1.7.2	Wurzelkanalaufbereitung des Zahnes	14
1.7.3	Wurzelkanalfüllung des Zahnes	16
1.7.4	Postendodontische koronale Restauration des Zahnes	18
1.8	<b>Beurteilung von Erfolg und Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung</b>	<b>19</b>
1.9	<b>Studienübersicht</b>	<b>23</b>
<b>2.</b>	<b>Zielsetzung der Arbeit</b>	<b>28</b>
<b>3.</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>29</b>
3.1	<b>Patientenkollektiv</b>	<b>29</b>
3.2	<b>Röntgeneinrichtung</b>	<b>31</b>
3.3	<b>Methodik</b>	<b>31</b>
3.3.1	Recall-Verfahren und Ermittlung der Erfolgsquote	31
3.3.2	Parameter der Datenbank und weitere Kriteriendefinitionen	32
3.3.3	Beurteilung der Röntgenbilder	37
3.3.4	Vorgehen zur Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit	38
3.3.5	Statistische Auswertung	39
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>40</b>
4.1	<b>Allgemeine Ergebnisse zum Patientenkollektiv</b>	<b>40</b>
4.1.1	Patientenkollektiv in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht	40
4.1.2	Patientenverteilung hinsichtlich anamnestischer Angaben	41
4.1.3	Patientenverteilung hinsichtlich der gestellten Diagnose	41
4.1.4	Patientenverteilung hinsichtlich der angewandten Fülltechnik	42

<b>4.2</b>	<b>Ergebnisse zu den untersuchten Zähnen</b>	<b>43</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Behandlungsqualität</b>	<b>43</b>
4.2.1.1	Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik und dem Zahntyp	45
4.2.1.2	Korrelation zwischen der Homogenität und der Fülltechnik und dem Zahntyp	46
<b>4.2.2</b>	<b>Behandlungserfolg</b>	<b>48</b>
4.2.2.1	Beurteilung des präendodontischen periapikalen Status, des Recalls und deren Gegenüberstellung	48
4.2.2.2	Periapikaler Status in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern	51
4.2.2.3	Verteilung des Recall-Abbruchs und der Extraktionsgründe	58
<b>4.2.3</b>	<b>Überlebenswahrscheinlichkeit</b>	<b>59</b>
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion zu Material und Methode</b>	<b>69</b>
5.1.1	Patientenkollektiv	69
5.1.2	Recall-Rate	70
5.1.3	Datenbankparameter	72
5.1.4	Radiologische Beurteilung	80
5.1.5	Radiologische Limitationen	81
5.1.6	Erfassung der Überlebenswahrscheinlichkeit	85
5.1.7	Der Zahn als Bewertungseinheit	86
<b>5.2</b>	<b>Diskussion zu den Ergebnissen</b>	<b>88</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Qualität der Wurzelkanalfüllungen</b>	<b>88</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Diskussion zur Erfolgsrate</b>	<b>93</b>
5.2.2.1	Erfolgsrate und Veränderung des periapikalen Index zum Zeitpunkt der Recall-Untersuchung	93
5.2.2.2	Erfolgsrate in Abhängigkeit von beeinflussenden Parametern	95
<b>5.2.3</b>	<b>Überlebenswahrscheinlichkeit und ihre Korrelation mit beeinflussenden Parametern</b>	<b>108</b>
<b>6.</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>116</b>
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>117</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>119</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	<b>134</b>
<b>9.1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>134</b>
<b>9.2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>134</b>
<b>9.3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>135</b>
<b>10.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>137</b>
<b>11.</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>138</b>

## 1. Einleitung

Die Europäische Gesellschaft für Endodontie (European Society of Endodontology ESE) hat sich in ihren Positionspapieren zur endodontischen Ausbildung zum Ziel gesetzt, dass Absolventen/-innen zahnmedizinischer Hochschulen in Europa ausreichende Kompetenzen im Bereich der wissenschaftlichen Grundlagen der Endodontie sowie der nicht-chirurgischen und chirurgischen endodontischen Behandlungen erworben haben. Die zuletzt 2013 überarbeitete Leitlinie „Undergraduate Curriculum Guidelines in Endodontology“ beschreibt curriculare Strukturen, welche den europäischen Universitäten eine Grundlage liefern soll, diese Kompetenzen zu vermitteln. Dabei soll vor allem die Qualität und Beständigkeit der studentischen Leistung im Vordergrund stehen [1].

Es ist unerlässlich das zahnmedizinische Studium anhand theoretischer Lehrveranstaltungen, vorklinischen patientenrealen praktischen Übungskursen als auch klinischer Behandlungskursen zu strukturieren [1]. Darüber hinaus zeigt sich das Alleinstellungsmerkmal des zahnmedizinischen Studiums: Bereits im Rahmen des Studiums machen die Studierenden unter intensiver Supervision ihre ersten eigenständigen klinischen Erfahrungen als Behandler/-innen. Anhand der beschriebenen Strukturierung der zahnmedizinischen Ausbildung soll, unter Berücksichtigung bestimmter Qualitäts- und Sicherheitsstandards, die kompetenzbasierte Ausbildung und folglich die effektive und sichere Versorgung der Patienten und Patientinnen sichergestellt werden [2].

Trotz all dem stellt das Studium der Zahnmedizin, besonderes der Endodontie, sowohl die Studierenden als auch die ausbildende Einrichtung vor Herausforderungen [3]. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die in der Literatur beschriebenen Diskrepanz endodontischer Erfolge – sowohl qualifizierter als auch sich in der Ausbildung befindenden Zahnärzte/-ärztinnen – unter anderem auf Qualitätsunterschiede und eine gewisse Unbeständigkeit während des Grundstudiums zurückzuführen ist [1, 4-10]. Daher ist die Qualitätsüberprüfung studentisch durchgeführter endodontischer Behandlungen ein wichtiger Aspekt der Qualitätssicherung an Universitäten, um so das Patientenwohlergehen und das angestrebte Niveau zu gewährleisten [11].

## **1.1 Endodontie**

Das Ziel der Zahnmedizin ist die langfristige Erhaltung der natürlichen, gesunden Dentition [12]. Durch präventive Maßnahmen und möglichst frühzeitige Behandlung von dentalen Erkrankungen wird versucht, dieses Ziel zu erreichen [13]. Die Endodontologie ist ein Teilgebiet der Zahnheilkunde, das sich mit Form, Funktion und Gesundheit der Pulpa und der periradikulären Region, deren pathologischen Zuständen, deren Prävention und Therapie, befasst [12]. Die endodontische Behandlung zielt in erster Linie darauf ab, Entzündungen im periapikale Gewebe vorzubeugen, es davon zu heilen und den Zahn als intakte Kauereinheit zu erhalten [14, 15].

## **1.2 Anatomie des Wurzelkanalsystems**

Im Zahninneren befindet sich die Pulpenhöhle, auch Pulpencavum genannt, die sich aus dem koronalen Anteil und dem Wurzelkanalsystem, einem vielfältigen und variablen Hohlraum im Bereich der Zahnwurzel, zusammensetzt und von der Pulpa ausgefüllt wird [16, 17]. Die Pulpa ist ein Weichgewebeskern aus lockerem Bindegewebe, Blut- und Lymphgefäßen, Nervenfasern und Bindegewebszellen, die sich zu Odontoblasten oder Fibroblasten differenzieren können [18]. Sie erstreckt sich von der Zahnkrone, der Kronenpulpa, bis zur Wurzelspitze, auch Wurzelpulpa genannt, und wird von den umgebenden Zahnhartsubstanzen Dentin und Zahnschmelz beziehungsweise Dentin und Zement begrenzt [18, 19]. Die wichtigste Funktion der Pulpa ist die Synthese des Dentins, ausgehend von den Odontoblasten, und dessen Versorgung durch das Gefäßsystem [20]. Aufgrund der engen Verbindung zwischen Pulpa und Dentin wird diese Einheit auch als Pulpa-Dentin-Einheit bezeichnet [19]. Neben den formativen und nutritiven Aufgaben dient das pulpale Gewebe der Reizweiterleitung und der Immunabwehr [21].

Als anatomischer Apex wird die anatomische Wurzelspitze bezeichnet [22]. Über das Foramen apicale, auch Foramen major genannt, steht die Pulpa mit dem periradikulären Gewebe in Verbindung. Hier befindet sich auch der Ein- und Austrittspunkt für Blutgefäße und Nervenfasern und das pulpale Gewebe geht in das Parodontalligament über [18]. Kuttler beschrieb bereits 1955, dass die Lage des Foramen apicale altersbedingt, aufgrund der apikalen Zementapposition und auch abhängig vom Zahntyp variieren kann [23]. Bei mehr als 60% der

Zähne weichen der anatomische Apex und das Foramen apicale voneinander ab [24]. Vom Foramen apicale ausgehend verjüngt sich das Wurzelkanalsystem nach koronal und bildet im Bereich der Dentin-Zement-Grenze die engste Stelle, die sogenannte apikale Konstriktion, auch Foramen physiologicum genannt [25]. Untersuchungen von Dummer et. al. zufolge beträgt der Abstand zwischen Foramen physiologicum und Foramen apicale für alle Zähne im Durchschnitt circa 0,89 mm [26].

Die auf dem Röntgenbild abgebildete Wurzelspitze stellt den radiologischen Apex dar. Die Distanz zwischen röntgenologischem Apex und dem Foramen apicale kann zwischen 0-3 mm liegen [24]. Vertucci et. al. klassifizierten 1974 die Wurzelkanalkonfiguration innerhalb einer Wurzel hinsichtlich ihrer Konfluenz beziehungsweise Teilung in acht Typen, ausgehend vom Pulpencavum bis hin zur Wurzelspitze [27, 28]. Akzessorische Seitenkanäle, die Vertucci zufolge in 73,5 % der Fälle im apikalen Drittel auftreten, apikale Ramifikationen, scharfe Abwinklungen im apikalen Bereich und multiple Kanalöffnungen beschreiben weitere morphologische Vielfältigkeiten des Kanalsystems [17, 29].

### **1.3 Pulpale und periradikuläre Erkrankungen**

Jeder Zahn, folglich auch die Pulpa selbst, ist diversen Noxen und Reizen ausgesetzt. Diese können zu Pulpairritationen führen, die langfristig irreparable Schäden verursachen können. Auch das periradikuläre Gewebe wird potentiell in Mitleidenschaft gezogen [30]. Pulpale Erkrankungen können sich in Form einer – reversiblen oder irreversiblen – Pulpitis oder Nekrose manifestieren, die zu entzündlichen periapikale Gewebsschäden führen können [15, 31]. Der Krankheitsverlauf kann sowohl symptomatisch als auch asymptomatisch sein [32].

#### **1.3.1 Ätiologie und Ursachen**

Mikrobielle, chemische und physikalische Reize können eine pulpale Entzündungsreaktion hervorrufen [33]. Karies und ihre Stoffwechselprodukte stellen die Hauptursache für solche Entzündungen dar. Doch auch dentale Traumata, Parodontopathien oder iatrogene Ursachen, beispielsweise tiefe Präparationen, nicht ausreichende Wasserkühlung während der Behandlung oder kieferorthopädische Behandlungen können dazu führen [32, 34].

Bereits bei einer Schmelzkaries reagiert die Pulpa-Dentin-Einheit mit der Sklerosierung der Dentinschicht unterhalb der Läsion [35]. Kommt es im Rahmen eines kariösen Prozesses zur Eröffnung der peripheren Dentintubuli und folglich durch die weitere Irritation zu einer Entzündung der Pulpa, kann von einer reversiblen Pulpitis ausgegangen werden, solange nach der Entfernung der Karies eine vollständige Ausheilung des Gewebes zu erwarten ist [33, 36]. Die Pulpa-Dentin-Einheit reagiert auf den reizauslösenden Stimulus – neben der Entzündung – mit der Sezernierung von Tertiärdentin, auch Reaktionsdentin genannt [37].

Steht die Pulpa aufgrund einer fortbestehenden kariösen Läsion kurz vor ihrer Exposition, ist eine irreversible Entzündungsreaktion im Bereich der Kronenpulpa anzunehmen. Spätestens bei der Exposition wird das pulpale Gewebe durch den kariogenen Biofilm kontaminiert und es kommt zu einer schwerwiegenden Entzündungsreaktion, gefolgt von Nekrosen des pulpalen Gewebes. Da zu diesem Zeitpunkt von keiner vollständigen Genese des Gewebes mehr auszugehen ist, wird dieses Stadium als irreversible Pulpitis beziehungsweise im Anschluss als Pulpanekrose bezeichnet. Das nekrotische Areal und die angrenzenden Dentinwände werden von Bakterien besiedelt [33].

Die bakterielle Infektion des apikalen Abschnitts des Wurzelkanals kann zu einer apikalen Parodontitis führen, die sich als Abwehrreaktion des Wirtes auf die mikrobielle Invasion, ausgehend vom Wurzelkanalsystem, manifestiert [38]. Das Vordringen der Mikroben, von denen viele vermutlich nicht gewebsinvasiv sind, und das Austreten ihrer Toxine in die periapikale Region führen zu einer akuten Entzündungsreaktion. Röntgenologisch ist zunächst die Erweiterung des Parodontalspaltes zu sehen, die sich auf den infizierten Bereich nahe der Wurzelspitze beschränkt. Eine einsetzende Knochenresorption ist noch nicht festzustellen [39-41]. Das Fortbestehen dieses Zustandes führt zur weiteren Freisetzung knochenresorptiver Mediatoren, die die Osteoklasten zu weiterem Knochenabbau veranlassen. In diesem Zusammenhang sind vor allem die proinflammatorischen Zytokine Interleukine  $1\alpha$  und  $-\beta$  (IL- $1\alpha$  /  $-\beta$ ) sowie die Tumornekrosefaktoren  $\alpha$  und  $\beta$  (TNF  $\alpha$  /  $-\beta$ ) von Bedeutung. Diese führen unter anderem zur Verstärkung der Knochenresorption und Hemmung der Knochenneubildung. Röntgenologisch ist dann eine periapikale Aufhellung zu sehen. Etabliert sich dieser Zustand in der periapikalen Region, entwickelt sich die akute Entzündung oft zu einer asymptomatischen, chronischen, abgekapselten Läsion – ein apikales Granulom. Wird das vorhandene Gleichgewicht zugunsten der bakteriellen Mikroorganismen gestört, kann es zur akuten Exazerbation kommen, die erneut zu Knochenresorptionen führen kann und die apikale Abszessentstehung begünstigt [39].

### **1.3.2 Prävalenz apikaler Parodontitiden**

Aufgrund ihrer häufig fehlenden Symptomatik manifestiert sich die apikale Parodontitis oftmals als röntgenologischer Zufallsbefund. Folglich ist die weltweite Prävalenz apikaler Parodontitiden als unterschätzt zu betrachten. Der Entwicklungsgrad und die sozioökonomischen Verhältnisse eines Landes, das Vorhandensein systemischer Erkrankungen sowie die verwendete röntgenologische Bildgebung stellen beispielsweise Faktoren dar, die mit dem Vorkommen apikaler Parodontitiden korrelieren [42].

Von insgesamt 200.041 untersuchten Zähnen wiesen im Durchschnitt 6,3 % eine apikale Parodontitis und 7,4 % eine bereits erfolgte endodontische Behandlung auf. In 41 % der schon wurzelkanalbehandelten Fälle wurde eine apikale Radioluzenz diagnostiziert. Diese Daten gehen aus Jakovljevic et. al. Meta-Analyse hervor, in der sie mittels publizierter Querschnittstudien von 2012 bis 2020 die Prävalenz apikaler Parodontitiden und nicht-chirurgischer endodontischer Behandlungen in der Allgemeinbevölkerung zusammentrugen [43]. Bürklein et. al. untersuchten 2019 die Prävalenz apikaler Parodontitiden sowie die Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalfüllungen in einer ausgewählten erwachsenen Bevölkerung in Deutschland. Dabei dokumentierten sie auch die Zusammenhänge zwischen apikalen pathologischen Veränderungen und bestehenden Wurzelkanalfüllungen. Von 8.254 Zähnen betrug die Gesamtprävalenz apikaler Parodontitiden 3,8 %. Von 677 bereits wurzelkanalbehandelten Zähnen (8,2 %) waren 42,5 % mit radiologischen Anzeichen einer apikalen Parodontitis assoziiert [44].

### **1.4 Endodontischer Behandlungsablauf**

Das Ziel der endodontischen Behandlung ist es, sowohl die Ausbreitung der Infektion zu verhindern als auch Bedingungen zu schaffen, unter denen eine vollständige Ausheilung des periradikulären Gewebes möglich ist, so dass im Idealfall der Zahn erhalten bleibt [14, 45].

Durch chemomechanischer Aufbereitung wird das Wurzelkanalsystem von Bakterien, deren Toxinen und von nekrotischem Gewebe befreit und für eine adäquate, bakterien-dichte Wurzelkanalfüllung präpariert [46, 47].

Um dieses Ziel zu erreichen, sollte bei einer indizierten Wurzelkanalbehandlung der im Folgenden beschriebene Behandlungsablauf beachtet werden:

1. Erhebung der Anamnese
2. Klinische und röntgenologische Diagnosestellung
3. Anästhesie zur Schmerzausschaltung der betroffenen Region [14].
4. Vollständige Entfernung kariöser Zahnhartsubstanz und bestehender insuffizienter Restaurationen. Versorgung des Zahnes mit einem präendodontischen, provisorischen Aufbau (falls erforderlich) [12].
5. Applikation einer Kofferdamisolierung: Sie reduziert zum einen den Eintritt von Speichel und somit eine weitere mikrobielle Kontamination. Zum anderen dient sie dem Patientenschutz vor einer potentiellen Inhalation beziehungsweise Ingestion von Spülflüssigkeiten oder zahnärztlichen Wurzelkanalinstrumenten [12]. Zudem wird die Behandlungseffizienz hinsichtlich der Sichtverhältnisse und der Zugangsmöglichkeiten zum Behandlungsgebiet verbessert [48].
6. Trepanation des Zahnes zur Schaffung eines adäquaten Zugangs zum Wurzelkanalsystems: Diese ermöglicht die vollständige Reinigung des Pulpencavums, das Auffinden der Wurzelkanäleingänge und die Desinfektion. Auch die Aufbereitung und die Füllung der Wurzelkanäle bis zum apikalen Endpunkt können so durchgeführt werden. Zudem sollte die Kavität so gestaltet sein, dass während der gesamten Behandlung ein spannungsfreies Einführen der benötigten Instrumente möglich ist [12, 14].
7. Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe elektrischer und röntgenologischer Methoden: In der Regel reicht sie von einem koronalen festgelegten Referenzpunkt bis zur apikalen Konstriktion [14]. Mit der Ermittlung der genauen Arbeitslänge, die idealerweise bis 0,5 mm-1 mm vor den röntgenologischen Apex reicht, soll der Erhalt der apikalen Konstriktion im Rahmen der Instrumentierung und der Obturation gewährleistet werden. Somit wird das Risiko der Überinstrumentierung, der damit einhergehenden Verschleppung von Mikroorganismen in das periapikale Gewebe und die Gefahr der Überpressung von Füllmaterialien minimiert [49, 50].
8. Chemomechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems: Ziel der mechanischen Aufbereitung, die sowohl manuell als auch maschinell erfolgen kann, ist die Entfernung der Bakterien, des erkrankten pulpalen Gewebes, der kontaminierten Zahnhartsubstanz innerhalb des Wurzelkanalsystems und dessen Ausformung für die chemische Spülung und Obturation [12, 46]. Die hochvolumige Anwendung von chemischen Spüllösungen dient ebenfalls der Elimination von Mikroorganismen, dem Herausspülen und Auflösen kontaminierter Debris und der Erhöhung der Instrumentengleitfähigkeit [12, 14]. Übliche

Spüllösungen sind Natriumhypochlorit (NaOCl), Chlorhexidin (CHX), Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) und Zitronensäure [14, 46].

9. Medikamentöse Wurzelkanaleinlagen zwischen zwei Sitzungen [12, 14]. Dabei können zur weiteren Desinfektion medikamentöse Wurzelkanaleinlagen in Form von Kalziumhydroxid angewendet werden [14]. Alternativ können bei Bedarf kortikosteroidhaltige Präparate (beispielsweise Ledermix), die der Schmerzlinderung dienen, appliziert werden [14, 51]. Der Zahn wird mit einem bakteriendichten temporären Verschluss versorgt, der eine mikrobielle Rekontamination vorbeugt [12, 14]. Bei persistierenden Schmerzen kann die medikamentöse Einlage mehrfach wiederholt werden [14].
10. Obturation des Wurzelkanals mit biokompatiblen, unlöslichen, erhärtenden, dimensionsstabilen und einfach applizierbaren beziehungsweise entfernbaren Materialien, die einen dauerhaften, bakterien- und flüssigkeitsdichten Verschluss gewährleisten [12, 14, 52]: Dieser Schritt erfolgt erst nach abgeschlossener Wurzelkanalaufbereitung, bei Schmerzfreiheit und erfolgreicher Trockenlegung des Wurzelkanalsystems [12]. Als Standard wird Guttapercha in Verbindung mit einem Sealer verwendet, die durch laterale Kondensation, warm-vertikale Kompaktion, thermoplastische Injektion oder trägerbasiert appliziert werden [14, 52]. Alle Techniken haben zum Ziel, dass das Wurzelkanalsystem inklusive akzessorischer Kanäle entlang der gesamten zuvor eruierten Arbeitslänge homogen und randständig abgefüllt wird, um eine Reinfektion des Wurzelkanalsystems vorzubeugen. Die Qualität der Wurzelfüllung ist im Anschluss an die Behandlung röntgenologisch zu überprüfen. Danach ist das Wurzelfüllmaterial 2-3 mm unterhalb des Kanaleingangs abzutrennen [12, 14, 52].
11. Umgehende postendodontische und bakteriendichte Rekonstruktion des Zahnes, die die Risiken einer erneuten Kontamination minimiert. Je nach Destruktionsgrad wird dies mit einem direkten plastischen Kompositaufbau oder mit einer indirekten Restauration durchgeführt. Insbesondere im Seitenzahnbereich ist bei ausgedehnten Defekten aufgrund der erhöhten Kaubelastung mit einem erhöhten Frakturrisiko des Zahnes zu rechnen. Daher ist eine indirekte Restauration mit einer Teilkrone oder einer Krone indiziert. Um die Retention bei unzureichendem Angebot an Zahnhartsubstanz für einen Aufbau zu gewährleisten, ist gegebenenfalls zusätzlich an einen Wurzelkanalstift zu denken [53].

Zur Sicherstellung eines nachhaltigen Erfolges der Wurzelkanalbehandlung wird eine regelmäßige klinische und radiologische Nachkontrolle empfohlen. Diese sollte nach 6 Monaten sowie nach 1, 2 und 4 Jahren erfolgen [14].

## **1.5 Radiologie in der Endodontie**

Zwei Wochen nach der Veröffentlichung von Konrad Röntgens Entdeckung der nach ihm benannten Röntgenstrahlen im Jahr 1895 erstellte der deutsche Zahnarzt Otto Walkhoff mit Unterstützung von Fritz Giesel erstmals ein intraorales dentales Röntgenbild seiner eigenen Zähne. Die Expositionszeit betrug 25 Minuten. Heute sind zahnärztliche Röntgenbilder eines der am häufigsten durchgeführten medizinischen bildgebenden Verfahren. Die Expositionszeit bei intraoralen Aufnahmen liegt bei  $< 0,3$  s [54, 55].

Radiografische Befunde sind ein unerlässlicher Bestandteil bei der Diagnosestellung, der intraoperativen Kontrolle, der Ergebnisbewertung und bei der Nachkontrolle der endodontischen Behandlung [56]. Die radiologische Diagnosestellung einer apikalen Parodontitis basiert auf Abweichungen der periapikalen Knochenstrukturen vom physiologischen Zustand. Der knochenresorptive Prozess infolge der Entzündung manifestiert sich ab einem gewissen Fortschritt als apikale Aufhellung auf dem Röntgenbild [41, 45]. Dentale Aufnahmen werden in intraorale (Zahnfilme) und extraorale (Orthopantomogramm und digitale Volumtomografie) Verfahren unterteilt. Außerdem ist die Dimensionalität ein Unterscheidungsmerkmal. Es gibt zweidimensionale (Zahnfilm und Orthopantomogramm) und dreidimensionale Verfahren (digitale Volumtomografie) [57].

Für endodontische Maßnahmen werden standardmäßig apikale Zahnfilme oder Orthopantomogramme (OPT) angefertigt [58]. Da bei Röntgenbildern dreidimensionale Strukturen zweidimensional komprimiert werden, liefern sie lediglich begrenzte Informationen hinsichtlich der Wurzelanatomie und der Knochendicke [56, 58]. Die röntgenologische Visualisierung der Größe und Lage von Läsionen wird zudem durch ihre Lokalisation in verschiedenen Knochentypen beeinflusst [41]. Bender und Seltzer erkannten 1961, dass knochenresorptive Prozesse wegen der Knochenüberlagerung erst bei kortikaler Knochenbeteiligung radiologisch erfasst werden. Reine, in der Spongiosa lokalisierte Läsionen sind röntgenologisch nicht erkennbar [59, 60]. Folglich werden initiale periapikale Entzündungen röntgenologisch nicht in ihrem tatsächlichen Ausmaß dargestellt, obwohl sie

histologisch nachweisbar sind [61]. Neben Überlagerungen anatomischer Strukturen erweisen sich unter anderem auch Verzerrungen, parallaktische Verschiebungen, Additions- und Subtraktionseffekte, Artefakte und individuelle (anatomische) Verhältnisse als Problematiken der herkömmlichen Röntgenbilder [56, 62].

Die dentale digitale Volumentomografie (DVT) ist im Gegensatz zum Zahnfilm und dem OPT eine extraorale dreidimensionale Aufnahmetechnik [63]. Die dimensionsgetreue Darstellung ermöglicht die Visualisierung periapikaler pathologischer Prozesse, bevor diese in herkömmlichen Röntgenbildern detektierbar sind [64]. Lofthag-Hansen et. al. verglichen den periapikalen Status von 46 Zähnen. Dabei wurden anhand der DVT 91,3% der Zähne mit einer periradikuläre Läsion assoziiert, während die periapikalen Radiografien nur bei 69,6% der Zähne eine Läsion nachwies. Auch hinsichtlich der Wurzelkanalanzahl lieferte die DVT bessere Ergebnisse – 10 % mehr Kanäle wurden dargestellt [65]. Obwohl die digitale Volumentomographie dem apikalen Zahnfilm beziehungsweise dem OPG hinsichtlich der Bildgebung signifikant überlegen ist, ist es am wichtigsten, die Strahlenexposition des/der Patienten/Patientin – die bei der DVT höher ist – so gering wie möglich zu halten [64]. Aus der S2k-Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) für dentale digitale Volumentomografie geht hervor, dass bei endodontischen Fragestellungen die Anfertigung einer DVT erst nach „umfangreicher Basisdiagnostik“ indiziert ist [63]. Daher werden im Rahmen endodontischer Behandlungen intraorale Zahnfilme nach wie vor als das Mittel der Wahl betrachtet [66]. Die DVT erst dann in Betracht zu ziehen, wenn herkömmliche Bildgebungsverfahren unzureichende Informationen für eine adäquate Behandlung liefern und die Vorteile der DVT die Nachteile überwiegen [64].

### **1.5.1 Zahnfilm**

Der Zahnfilm gehört zu den zweidimensionalen intraoralen Röntgenaufnahmen. Er weist eine Strahlenbelastung von 2-9  $\mu\text{Sv}$  auf und ist nach wie vor das am häufigsten verwendete zahnmedizinische Bildgebungsverfahren [55, 57]. Er kann sowohl analog als auch digital erstellt werden [67]. Der hohe Grad an Detailgenauigkeit ermöglicht die Detektion kariöser Läsionen vor allem im Approximalraum und parodontaler Veränderungen. Auch die knöchernen Konturen, die den Zahn umgeben, und der Parodontalspalt können beurteilt werden [57, 68]. Trotz der zuvor genannten Unzulänglichkeiten sind apikale Zahnfilme zur Visualisierung periradikulärer Läsionen und anatomischer Gegebenheiten, zur

Diagnosestellung, Längenbestimmung und zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen essentiell [56].

### **1.5.2 Orthopantomogramm (OPT)**

Das Orthopantomogramm, auch Panoramaschichtaufnahme (PSA) genannt, ist ein zweidimensionales extraorales Bildgebungsverfahren [57]. Die durchschnittliche Strahlenexposition liegt bei digitalen Verfahren bei 14-24  $\mu\text{Sv}$  [55].

Dieses Verfahren ermöglichte dem Behandelnden zum ersten Mal die Darstellung beider Kiefer einschließlich der jeweiligen Dentition in einem einzigen Röntgenbild [69]. Neben der Abbildung der angrenzenden Strukturen ist auch der direkte Seitenvergleich beim OPT von Vorteil. Es wird zum Nachweis retinierter Zähne, tumoröser Geschehnisse, Zysten, Frakturen und im Zuge implantologischer Verfahren eingesetzt [68]. Verzerrungen, Detailverlust, Überlagerungen anatomischer Strukturen und Probleme bei der korrekten Patientenpositionierung begrenzen die Qualität der Röntgenaufnahme [56, 70]. Trotz der Limitierungen spielt das Orthopantomogramm eine wesentliche Rolle in der dentomaxillofazialen Röntgendiagnostik [68].

Beim Vergleich der Darstellung periapikaler Läsionen variieren die Ergebnisse diverser Studien zwischen Panoramaschichtaufnahmen und apikalen Zahnfilmen [71]. Stephens et. al. detektierten mittels OPG weniger periapikale Läsionen als beim Zahnstatus anhand intraoraler Aufnahmen [70, 72]. Im Widerspruch dazu beschrieben Muhammed und Manson-Hing keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der beiden Aufnahmetechniken [73]. Im Rahmen epidemiologischer Studien beschrieben auch Ahlqwist et. al. die Detektion apikaler Parodontitiden mithilfe von Panoramaschichtaufnahmen als genauso effektiv wie anhand apikaler Röntgenbilder [74]. Es wurde festgestellt, dass die Visualisierung periradikulärer pathologischer Prozesse im OPG zwischen verschiedenen Regionen des Kiefers variiert [75]. Dies ist auf die Überlagerungen von Hart- und Weichgewebe sowie der Atemwege im interessierten Bereich zurückzuführen [76]. So kann es beispielsweise durch die Überlagerung der Halswirbelsäule mit dem Unterkiefer zu Fehlinterpretationen im Bereich der Frontzähne kommen [77]. Das fehlende Anlegen der Zunge an den Gaumen während der Röntgenanfertigung steigert die Überbelichtung der Oberkieferfrontzähne im apikalen Bereich wodurch die fehlerfreie Befundung erschwert wird [76].

Molander et. al. untersuchten die Sensitivität und Spezifität von Panoramaschichtaufnahmen hinsichtlich periapikaler Veränderungen in Abhängigkeit vom Zahntyp. Die Sensitivität für die Feststellung von Läsionen lag bei 60-83 % für die meisten Zahntypen. Für Schneide- und Eckzähne des Unterkiefers betrug sie lediglich 29 %. Unter Hinzuziehung korrelierender apikaler Zahnfilme nahm die Empfindlichkeit zu. Die Spezifität lag bei allen Zähnen bei 95 % und stieg nach Hinzuziehung apikaler Aufnahmen nur geringfügig [41, 78]. Zur Beurteilung der Qualität der Wurzelkanalfüllung hingegen ist das OPG dem apikalen Zahnfilm unterlegen [79].

### **1.5.3 Digitale Volumentomografie (DVT)**

Die digitale Volumentomografie ist ein Ende der 1990er Jahre entwickeltes Verfahren, das eine dreidimensionale Aufnahme des dentomaxillofazialen Skelettes mit einer deutlich niedrigeren Strahlenbelastung als die klassische Computertomografie ermöglicht [64]. Unter der Verwendung eines Kegelstrahls werden einzelne Projektionsbilder aufgenommen, die kephalometrischen Röntgenbildern ähneln und jeweils leicht voneinander versetzt sind. Diese werden anschließend zu einem 3D-Volumendatensatz generiert, der die Darstellung der anatomischen Strukturen in allen drei Ebenen – axial, sagittal und koronal – erlaubt [80]. Die Strahlendosis liegt, in Abhängigkeit von der verwendeten Größe des Field of View (FOV) und der Region of Interest (ROI), zwischen 19-368  $\mu\text{Sv}$  [55, 81]. Der Einfluss der ROI auf die effektive Strahlendosis ist auf die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit verschiedener Gewebe/ Organe zurückzuführen. So gehen beispielsweise Aufnahmen des Oberkiefers mit einer niedrigeren effektiven Strahlendosis einher als die des Unterkiefers [81].

Die DVT kann inzwischen in fast allen Bereichen der Zahnmedizin eingesetzt werden: bei der Schmerzdiagnostik, der Endodontie, der Parodontologie und der Implantologie bis hin zur orofazialen Chirurgie. Sie eignet sich vor allem für die Darstellung von Hartgewebe [63, 82]. Metallrestaurationen, Wurzelfüllungen und auch Implantate in der umliegenden Umgebung verursachen Artefakte. Auch Bewegungen der Patienten/Patientinnen während der Umlaufzeit minimieren die Bildqualität, so dass die Anwendung bei Kindern, älteren Patienten/Patientinnen sowie bei Patienten/Patientinnen mit neurologischen Störungen reduziert ist. Diese Faktoren sind vor der Anfertigung der DVT zu berücksichtigen [55].

Hinsichtlich endodontischer Maßnahmen empfiehlt der amerikanische Verband der Endodontologen (American Association of Endodontists AAE), dass das Field of View möglichst auf den interessierenden Bereich beschränkt und möglichst klein gewählt werden sollte, da dadurch im Vergleich zu großen FOV eine bessere räumliche Auflösung erreicht wird [55, 83]. Die Auflösung ist qualitativ jedoch der intraoralen Aufnahme unterlegen. Obwohl die DVT im Vergleich zu periapikalen Aufnahmen eine höhere Sensitivität hinsichtlich der Detektion von periradikulären Läsionen aufweist, ist sie dennoch nicht zur routinemäßigen Beurteilung periapikaler Pathologien zu empfehlen [55].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Anwendung der digitalen Volumentomografie trotz der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten wegen der erhöhten Strahlenexposition im Vergleich mit der radiologischen Basisuntersuchung (OPT/Zahnfilm) limitiert ist. Es ist dem Behandelnden erst dann erlaubt, eine DVT anzufertigen, wenn die erforderlichen Informationen für Diagnosestellung, Therapieplanung und Behandlung mittels Basisdiagnostik unzureichend sind [84].

## **1.6 Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne**

Um die bestmögliche Prognose endodontischer Behandlungen sicherzustellen, ist die Eliminierung von Mikroben aus dem infizierten Wurzelkanal ohne bakterielle Inokulation des periapikalen Gewebes, gefolgt von einer hochwertigen Obturation, unerlässlich [85]. In Abhängigkeit davon, wie erfolgreich dies umgesetzt wird, reichen die Erfolgsquoten nach einer Follow-up Periode von ein bis zehn Jahren von 70 % bis über 90 % [86-88]. Friedman et. al. veröffentlichten im Rahmen ihrer Untersuchungen einen Überblick über die Erfolgsrate endodontisch behandelter Zähne, die sogar zwischen 48 % und 95 % variierte [89]. Die meisten Informationen zur Qualität und Prognose von Wurzelkanalbehandlungen basieren auf longitudinalen Studien, die an Zahnkliniken oder bei Spezialisten für Endodontie durchgeführt wurden [87, 89-93].

Aus Querschnittsuntersuchungen hingegen ging hervor, dass die endodontischen Behandlungen, die von allgemein praktizierenden Zahnärzten/-ärztinnen durchgeführt wurden, vermehrt unzureichende Wurzelfüllungen, eine höhere Rate postendodontischer apikaler Parodontitiden und folglich eine niedrige Erfolgsrate aufwiesen [90, 94, 95]. Alleys et. al. verglichen die Überlebensquote endodontisch behandelter Zähne nach der Behandlung durch allgemein praktizierende Zahnärzte/-ärztinnen mit den Ergebnissen nach der Behandlung durch

endodontologische Spezialisten/Spezialistinnen. Der Behandlungserfolg der endodontischen Fachleute lag um 8,4 % höher als der des Allgemeinzahnarztes/der Allgemeinzahnärztin [96].

## **1.7 Einflussfaktoren auf die Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne**

Es ist allgemein anerkannt, dass die Prognose der Wurzelkanalbehandlung positiv mit der technischen Qualität der Wurzelfüllung korreliert. Es gibt jedoch weitere Parameter, die die Erfolgchancen potentiell beeinflussen [87, 91, 97]. Ng et. al. trugen diese in einer Meta-Analyse zusammen und kategorisierten sie in prä-, intra- und postoperative Faktoren. Zu den präendodontischen Faktoren gehörten neben Alter und Geschlecht der Patienten/Patientinnen unter anderem der Zahntyp sowie der Zustand des Zahnes hinsichtlich seines pulpalen und periapikalen Status. Beim Vorhandensein einer apikalen Läsion kann auch ihre Größe eine Rolle spielen. Die sich im Kanal befindende Bakterienkultur, die Verwendung einer Kofferdamisolierung, die angewandten Spülungen und auch die medikamentöse Einlage stellen intraoperative Komponenten dar. Komplikationen während der Behandlung wie Kanalobstruktionen oder iatrogene Behandlungsfehler (Perforationen, Via falsa, Überinstrumentierung, Instrumentenfraktur) können das Ergebnis ebenfalls negativ beeinflussen. Die koronale Versorgung nach Abschluss der endodontischen Behandlung stellt einen postendodontischen Parameter dar [98].

Häufig in der Literatur beschriebene Einflussfaktoren werden im Folgenden genauer beschrieben.

### **1.7.1 Präendodontischer Zustand des Zahnes**

Mehrere Studien untersuchten den Einfluss des pulpalen und periradikulären Zustandes eines Zahnes zum Zeitpunkt der Diagnosestellung auf die Erfolgchancen [89, 99, 100]. Hinsichtlich des Einflusses der Vitalität gibt es keine eindeutige literarische Übereinstimmung [98]. So beschrieben Smith et. al., dass vitale Zähne mit einer höheren Wahrscheinlichkeit ein positives Behandlungsergebnis erzielen als nicht-vitale: 88,89 % versus 82,64 % [99]. Diese Ansicht wurde von Friedman et. al. gestützt [89]. Einen gegensätzlichen Standpunkt vertrat Nelson, laut dessen Untersuchungen die Vitalität keinen nennenswerten Einfluss auf die Prognose hat [100].

Hinsichtlich des periapikalen Zustandes und dessen prognostischen Einflusses sind in der Literatur deutlich einheitlichere Stellungnahmen zu finden [85, 89, 100]. Friedman et. al. beschrieben bei präendodontisch diagnostizierten periapikalen Läsionen statistisch signifikante Unterschiede in den Behandlungsergebnissen. In Abwesenheit einer Läsion lag die Ausheilungsrate bei 97 %, in Anwesenheit einer Läsion lag sie nur noch bei 63,2 %. Bei 28,2 % der Fälle lag eine unvollständige Ausheilung und bei 8,6 % ein Misserfolg vor [89]. Hinsichtlich dieses Aspektes vertrat Nelson ähnliche Ansichten [100]. Auch Chugal et. al. stellten vergleichbare Ergebnisse vor, wobei sie eine 4,35-fach höhere Ausfallrate in Anwesenheit einer Läsion beschrieben. Das Behandlungsergebnis, basierend auf der Pulpadiagnose und ohne Berücksichtigung des periapikalen Status, ergab, dass die Pulpitis mit 89,7 %, die beste Outcome-Rate aufwies, während die Pulpanekrose am schlechtesten abschnitt. Unter Berücksichtigung sowohl klinischer als auch radiologischer Befunde lag die Misserfolgsrate der Behandlung bei akuten apikalen Parodontitiden deutlich niedriger als bei den chronischen [85]. Stellt man den periradikulären Zustand mit der Vitalität in Zusammenhang, ist – basierend auf den Ergebnissen einer Meta-Analyse von Ng et.al. – bei vitalen und nicht-vitalen Zähnen ohne pathologischen apikalen Befund ein vernachlässigbar geringer Unterschied hinsichtlich einer erfolgversprechenden Behandlung festzustellen. In Anwesenheit einer periapikalen Läsion liegt die Wahrscheinlichkeit einer positiven Prognose bei vitalen Zähnen jedoch deutlich höher [98]. Darüber hinaus ist eine vollständige Regeneration des Knochens umso eher anzunehmen, je kleiner die zuvor diagnostizierte periapikale Knochenläsion ist [87]. Allgemein lässt sich zusammenfassen, dass das präoperative Fehlen einer periradikulären Osteolyse mit der postoperativen Heilung korreliert und somit einen essentiellen Parameter für eine gute Prognose darstellt [85].

### **1.7.2 Wurzelkanalaufbereitung des Zahnes**

Die Persistenz von Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem sowie deren Verbreitung in das periradikuläre Gewebe können den Erfolg endodontischer Behandlungen gefährden [101].

Daher ist die chemomechanische Wurzelkanalaufbereitung auf die möglichst vollständige Eliminierung von Bakterien und infiziertem Gewebe aus dem Wurzelkanalsystem ausgerichtet [5]. Die vielfältige Kanalkonfiguration und die Wurzelkanalmorphologie lassen eine ausreichende Desinfektion des infizierten Kanals durch ausschließlich mechanische Instrumentierung nicht zu. Daher ist das chemische Debridement zur weiteren Elimination von

Mikroorganismen, zum Herausspülen von Debris und infizierten Ablagerungen, die im Zuge der mechanischen Aufbereitung nicht entfernt werden konnten, unerlässlich. Die mechanische Ausformung des Kanals ermöglicht eine effizientere Desinfektion durch Spüllösungen bis zum terminalen Bereich des Wurzelkanalsystems [45, 102]. Baker et. al. beschrieben, dass ohne chemische Reinigung während der Instrumentierung im Vergleich zu gespülten Kanälen 70 % mehr Debris im Kanal verbleiben [103]. Die chemomechanische Aufbereitung mittels 2,5%igem NaOCl, 17 % EDTA in Kombination mit rotierenden Nickel-Titan-Feilen ermöglicht nach Martinhos et. al. eine 98,06%ige Reduzierung von Endotoxinen im Wurzelkanalsystem. Die Notwendigkeit sowohl mechanischer als auch chemischer Aufbereitung des Kanals wird hiermit unterstrichen [104]. Die Instrumentierung des Kanalsystems birgt immer das Risiko von iatrogenen Verfahrensfehlern wie das Begradigen gekrümmter Kanäle, Perforationen, Stufenbildungen, laterale Ausdünnungen, Verblockungen sowie Instrumentenfrakturen [102]. Das Risiko der Überinstrumentierung kann zu jedem Zeitpunkt der Kanalaufbereitung eintreten. Dadurch kann es zu einer Extrusion von infizierten Geweben in die periradikuläre Region kommen, die zu einer Entzündung führen kann und somit von prognostischer Relevanz ist [45]. So zeigten Untersuchungen von Bergenholz et. al. ein häufigeres Vorkommen periapikaler Läsionen bei Wurzeln mit Überinstrumentierung als bei solchen ohne Überinstrumentierung [105].

Grundlegend treten Instrumentenfrakturen bei unsachgemäßer Handhabung, Überbeanspruchung der Instrumente oder durch übermäßige Krafteinwirkung auf die Instrumente vor allem in stark gekrümmten Kanälen auf [106, 107]. Sowohl Frostell als auch Strindberg beschrieben im Zusammenhang mit einer Instrumentenfraktur eine höhere Misserfolgsrate der endodontischen Behandlung [91, 106, 108]. Basierend auf den Ergebnissen weiteren Studien konnte dies nicht betätigt werden [107, 109, 110]. Entscheidend ist vor allem das Vorhandensein einer präendodontischen Läsion und ob eine Beeinträchtigung der adäquaten Kanaldesinfektion vorliegt – nicht das frakturierte Instrument per se [106, 107, 110]. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass nicht alle Verfahrensfehler zwingend zu einer schlechteren Prognose führen – aber jeder Fehler, der die mikrobielle Elimination beeinträchtigt, erhöht das Risiko eines schlechteren Ergebnisses [107].

### 1.7.3 Wurzelkanalfüllung des Zahnes

Idealerweise stellt die Wurzelkanalfüllung eine hermetische, homogene dreidimensionale Obturation dar, die unmittelbar vor dem Apex endet und somit das erneute Eindringen von Mikroorganismen verhindert [111]. Sowohl die Länge der Füllung im Hinblick auf ihren Abstand zum röntgenologischen Apex als auch die Homogenität gelten als zwei wesentliche Qualitätsmerkmale der Wurzelkanalbehandlung. Sie sind für den Behandlungserfolg und für den Erhalt beziehungsweise die Wiederherstellung gesunder periapikaler Strukturen von hoher Bedeutung [45, 98, 112, 113]. Trotz ihrer Einschränkungen etablierte sich die radiografische Bildgebung als einzige Methode zur Beurteilung dieser Parameter [45, 114].

#### Länge der Wurzelkanalfüllung

Die apikale Konstriktion gilt als idealer Endpunkt der Aufbereitung und der Wurzelkanalfüllung [49]. Ingle, Weine und auch Frank et. al. beschrieben, dass die Instrumentierung und die Füllung des Wurzelkanals bis 0,5-1 mm vor den radiologischen Apex als ausreichend angesehen werden können. Sie legten dar, dass so das Risiko der Überinstrumentierung, die damit einhergehende Verschleppung von bakteriellen Toxinen und das Überpressen von Obturationsmaterial minimiert werden [49, 50, 115, 116]. Das Überpressen von Wurzelfüllmaterial resultiert oft aus einer entzündlichen apikalen Wurzelresorption, einer unvollständig ausgebildeten Wurzelspitze oder einer Überinstrumentierung über das apikale Foramen hinaus, da sich die Schaffung eines neuen apikalen Stopps als schwierig erweist [106]. Zahlreiche Studien untersuchten die Erfolgsraten von Wurzelkanalbehandlungen in Abhängigkeit von ihrer Länge zum radiologischen Apex.

Dabei wurde die Länge meist in drei Kategorien eingeteilt [87, 98, 113, 117-121]:

- adäquate Länge („flush“): 0-2 mm vom Apex entfernt
- zu lang („long“): über den Apex hinaus extrudiert
- zu kurz („short“): mehr als 2 mm vom Apex entfernt (siehe Abbildung 1a-c)

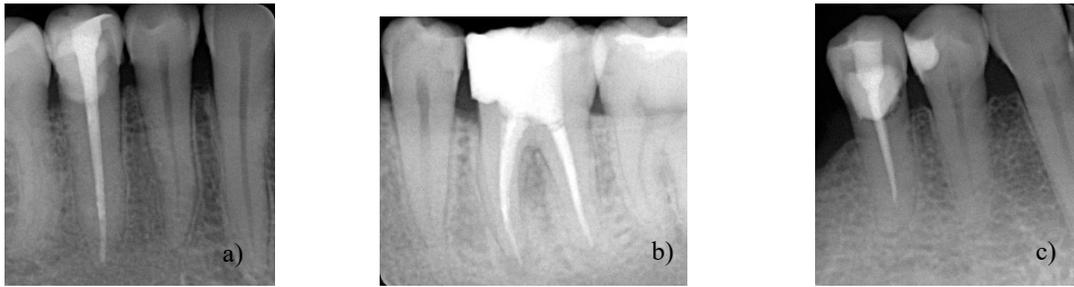


Abbildung 1: Beurteilung der Länge der Wurzelkanalfüllung:  
(Röntgenbilder aus der Endo-Datenbank)

- a) Zahn 45 ideal
- b) Zahn 36 mesial zu lang
- c) Zahn 45 zu kurz

Sjögren et. al. untersuchten das Behandlungsergebnis von Wurzelkanalfüllungen bezüglich ihrer Länge bei einer zuvor diagnostizierten Pulpanekrose oder einer apikalen Parodontitis. Die Erfolgsprognose bei adäquater Wurzelfülllänge lag bei 94 %, während sie bei Überfüllung auf 76 % und bei zu kurzer Länge auf 68 % sank [87]. Auch Smith et. al. zufolge liegt die Erfolgsrate bei zufriedenstellender Länge deutlich höher als bei inadäquater Fülllänge [99]. Bürklein et. al. beschrieben in ihrer Studie 2019 eine zu kurze Wurzelkanalfüllung als den häufigsten technischen Fehler im Zusammenhang mit apikalen Parodontitiden. Etwa ein Drittel der wurzelkanalbehandelten Zähne, die eine apikale Parodontitis aufwiesen, zeigten eine zu kurze Obturation [44]. Sowohl die hier beschriebenen als auch weitere Studien lassen auf die Relevanz einer adäquaten Wurzelfülllänge im Zusammenhang mit dem Behandlungserfolg schließen [4, 98, 100, 122, 123].

### Homogenität der Wurzelfüllung

Eine unvollständige Obturation ermöglicht es Mikroorganismen und deren Toxinen, weiter in das periapikale Gewebe vorzudringen und dort Entzündungen hervorzurufen. Daher wird eine möglichst homogene, gut kondensierte, an den Kanalwänden adaptierte und eine von Hohlräumen oder eingeschlossenen Luftblasen freie Füllung angestrebt, die sich röntgenologisch als kontinuierliche röntgenopake Masse manifestiert. Ein radiologisch gutes Erscheinungsbild in vestibulo-oraler Richtung der Füllung ist nur bedingt aussagekräftig, da es keinen Informationsgehalt in mesio-distaler Richtung liefert. Dennoch werden Röntgenbilder zur Beurteilung der Homogenität der Füllung herangezogen (siehe Abbildung 2a/b) [111].



Abbildung 2: Beurteilung der Homogenität der Wurzelkanalfüllung: a) Zahn 25 homogen (Röntgenbilder aus der Endo-Datenbank) b) Zahn 24 inhomogen

Harty et. al. stellten 1970 fest, dass eine zufriedenstellende Kompaktion signifikant für den Behandlungserfolg ist [100, 124]. Diese Ansicht wurde von Nelson unterstützt. Von 299 untersuchten Zähnen hatten 17,4 % eine inadäquate Füllung, von denen wiederum 51,9 % einen Misserfolg zeigten. Die 82,6 % der Zähne mit annehmbare Obturation hatten eine Erfolgsrate von 89,1 % [100]. Cheung beschrieb 2002, dass Hohlräume in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation in der Wurzelfüllung die Prognose der Zähne unterschiedlich beeinflussen. Die Erfolgchancen von Wurzelkanalbehandlungen mit Hohlräumen im mittleren oder apikalen Drittel lagen deutlich niedriger als bei Wurzelkanalbehandlungen mit Hohlräumen im koronalen Drittel beziehungsweise ohne Hohlräume [125]. Sjogren et. al. erkannten entgegen der bisher beschriebenen Ansicht keinen nennenswerten Einfluss der Homogenität beziehungsweise Inhomogenität auf die Prognose der Behandlung [87].

#### 1.7.4 Postendodontische koronale Restauration des Zahnes

Neben der Wurzelkanalfüllung ist auch die koronale Versorgung eine Barriere gegen das erneute Eindringen von Flüssigkeiten und Bakterien in die periapikale Region. Aus diesem Grund wurde die prognostische Relevanz der Qualität der koronalen Restauration mehrfach untersucht [45, 90, 126-128]. Die Studie von Swartz et. al. ergab, dass die Erfolgsquote der Behandlung deutlich niedriger war, wenn zum Zeitpunkt der Nachkontrolle keine ordnungsgemäße Restauration vorhanden war, als bei dem Vorhandensein einer solchen [126]. Bei alleiniger Beurteilung des Einflusses der koronaren Versorgung auf den periapikalen Zustand zeigten Kirkevangs et. al Untersuchungen ähnliche Resultate. Unter Hinzuziehung der Qualität der Wurzelfüllung lag die Überlebensrate unter der Voraussetzung, dass beide Parameter von guter Qualität waren, bei 68,8 %. War die Qualität bei beiden Faktoren ungenügend, sank die Prognose deutlich ab – auf 21,7 % [90]. Sowohl Tronstad et. al. als auch

Ray und Trope eruierten bezüglich der Prognose signifikante Unterschiede beim Vergleich der Kombinationen aus adäquater koronaler Restauration mit mangelhafter Wurzelfüllung und schlechter restaurativer Versorgung mit suffizienter Füllung [129, 130]. Tronstad et. al. verzeichneten dabei eine Erfolgsrate von 56 % versus 71 %. Daraus schlussfolgerten sie, dass das endodontische Behandlungsergebnis ungeachtet der Qualität der koronalen Versorgung maßgeblich von der Wurzelfüllung abhängig ist [130]. Im Gegensatz dazu beschrieben Ray und Trope das Ergebnis genau umgekehrt und konstatierten, dass die koronale Restauration für den Erfolg der Therapie und für die Wiederherstellung der apikalen Gesundheit von entscheidender Bedeutung ist [129]. Beide Studien verdeutlichen mit Erfolgsraten von 81 % und 91,4 %, analog zu den Ergebnissen Kirkevangs et. al, dass eine gute koronale Versorgung, kombiniert mit einer suffizienten Wurzelfüllung, die besten Erfolgchancen hat [90, 129, 130]. Ungeachtet dessen, ob nun die Wurzelkanalfüllung oder die koronale Restauration einen höheren prognostischen Stellenwert einnimmt, untermauert die Mehrheit der Studien die Relevanz der postendodontischen koronalen Restauration für die Erfolgsquote [45, 90].

## **1.8 Beurteilung von Erfolg und Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung**

Der evidenzbasierte Erfolg einer endodontischen Untersuchung wäre durch eine histologische Untersuchung des periradikulären Gewebes sowie durch eine mikrobiologische Untersuchung des Wurzelkanals festzustellen [131]. Da sich dies nicht als praktikabel erweist, dienen die Schmerzanamnese und klinische sowie röntgenologische Befunde zur Beurteilung des Therapieerfolges [131, 132]. Doch wie wird der Erfolg endodontischer Behandlungen definiert? Literarisch wird er unterschiedlich ausgelegt. In einigen Studien wird der Erfolg über strenge klinische und/oder radiologische Befunde definiert, während in anderen die Erhaltung des Zahnes in der Mundhöhle als Therapieerfolg aufgefasst wird [6, 133-139].

Eine wegweisende Follow-up-Studie zur Beurteilung endodontischer Behandlungsergebnisse veröffentlichte Strindberg 1956, aus der die bis heute verwendeten Strindberg-Kriterien hervorgingen [91, 140]. Basierend auf dem Fehlen oder dem Vorhandensein einer apikalen Parodontitis kategorisierte er die Behandlungsergebnisse in „erfolgreich“ (Fehlen einer apikalen Parodontitis), „gescheitert“ (Anwesenheit einer apikalen Parodontitis) und „ungewiss“ [45, 140, 141]. In Abhängigkeit vom präendodontischen Zustand und vom genauen Zeitpunkt des Therapieabschlusses definierte Strindberg den „Erfolg“ oder den „Misserfolg“ der Behandlung, denn andernfalls sei nur die An- beziehungsweise Abwesenheit einer apikalen

Parodontitis zu beurteilen [91, 141]. Der Strindberg-Index beziehungsweise seine modifizierten Versionen finden nach wie vor Verwendung [45, 141-143].

Im Rahmen epidemiologischer und klinischer Studien etablierten sich neben den Strindberg-Kriterien auch andere Indizes, da die Beurteilung des periapikalen Gewebezustandes nach Abschluss der Behandlung radiologisch erfolgt und dafür keine allgemein standardisierten Bewertungskriterien zur Beurteilung von Erfolg und Misserfolg zur Verfügung stehen [141, 142].

Alternativ wird der periapikale Index (PAI) nach D. Ørstavik verwendet. Es handelt sich um ein röntgenologisches Bewertungssystem, das die Beurteilung pathomorphologischer Veränderungen im Rahmen einer apikalen Parodontitis erlaubt [15]. Der Index basiert auf Referenzradiografien mit verifizierten histologischen Befunden, die ursprünglich von Brynhof veröffentlicht wurden [41, 45]. Er wird in fünf Schweregrade eingeteilt, wobei Grad 1 gesunde periapikale Strukturen beschreibt, während die Grade 2-4 eine zunehmende knöchernen Veränderung und Ausprägung einer apikalen Parodontitis repräsentieren (siehe Abbildung 3 und 4 a-e) [144, 145]:

1. PAI 1: normale periapikale Struktur
2. PAI 2: geringe Veränderungen der knöchernen Strukturen
3. PAI 3: Veränderung knöcherner Strukturen mit Verlust an Mineralien
4. PAI 4: gut definierte radioluzente Struktur
5. PAI 5: ausgeprägte apikale Parodontitis mit ausbreitender Tendenz [146]

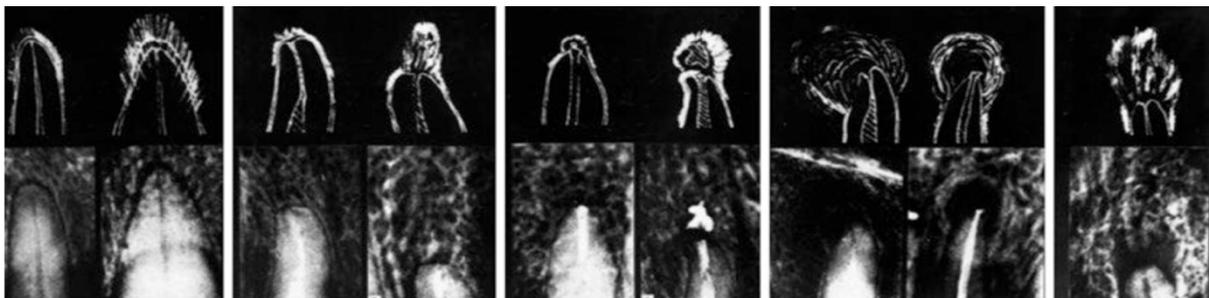


Abbildung 3: Darstellung des PAI nach D. Ørstavik (von links nach rechts: PAI Grad 1 bis 5) [15]



Abbildung 4: Darstellung des PAI anhand von Röntgenbildern aus der Datenbank:  
a) Zahn 46 PAI 1; b) Zahn 45 PAI 2; c) Zahn 46 PAI 3; d) Zahn 36 PAI 4; e) Zahn 36 PAI 5

Das Röntgenbild des Patienten/ der Patientin wird mit den Referenzbildern verglichen und dem entsprechenden Schweregrad zugeordnet [45, 147]. Häufig werden der Einfachheit halber zum Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien die ursprünglichen fünf Schweregrade dichotomisiert. Dabei werden die PAI Grade 1 und 2 als „gesund“ beziehungsweise als „Erfolg“ und die Grade 3, 4 und 5 als „krank“ beziehungsweise als „Misserfolg“ eingestuft [8, 9, 146, 148-150]. Alternativ wird der PAI Grad 3 als „ungewiss“ klassifiziert und nur die Grade 4 und 5 als „Misserfolg“ betrachtet [151].

Reit und Gröndahl führten den sogenannten Probability Index (PRI) ein [152]. Dieser ist im Vergleich zu den anderen Indizes eine Wahrscheinlichkeitsbewertung für das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von apikalen Parodontitiden, die in fünf Grade unterteilt ist [141]. Auch der PRI wird zu Studienzwecken oftmals zusammengefasst [41, 137, 141, 153, 154]. In diesem Zusammenhang ist auf die sogenannte inter- und intraobserver variability hinzuweisen. Die interobserver variability repräsentiert die Diskrepanz der Röntgenbeurteilung durch zwei Gutachter, die intraobserver variability zeigt eine Abweichung der Beurteilung durch einen einzigen Gutachter zu verschiedenen Zeitpunkten [79, 142]. Tarcin et. al. verglichen bei ihren Untersuchungen die inter- und die intraobserver variability bei der Beurteilung des periapikalen Zustandes unter Verwendung des PAI, PRI und Strindberg-Index. Während der PAI und der PRI eine niedrigere Intraobserver-Übereinstimmung aufwiesen als der Strindberg-Index, hatte der PAI eine höhere Interobserver-Übereinstimmung als der PRI und der Strindberg-Index. Dies war auf die Verwendung von Referenzröntgenbildern zurückzuführen. Nach Dichotomisierung der zugehörigen Fünf-Grad-Skala des PAI und des PRI lieferten diese jeweils höhere Werte als der Strindberg-Index – sowohl für die Inter- als auch für die Intraobserver-Übereinstimmung [141].

Die Mehrdeutigkeit des Begriffs „Erfolg“ in der endodontischen Therapie könnte vermieden werden, wenn dieser hinsichtlich der Zielsetzung der Behandlung – Prävention oder Heilung

einer apikalen Parodontitis – definiert werden würde und Indizes unterstützend hinzugezogen würden [155, 156]. Laut Stellungnahme der DGZMK lässt sich das Behandlungsergebnis hinsichtlich der Heilung in drei Kategorien einteilen, so dass sich letztlich Erfolg beziehungsweise Misserfolg zuordnen lassen [132]:

„Vollständige Heilung“	klinische Symptombefreiheit und keine röntgenologischen Anzeichen einer entzündlichen Läsion
„Unvollständige Heilung“	klinische Symptombefreiheit und röntgenologisch nachweisbare Verkleinerung der entzündlichen Läsion
„Keine Heilung“	fortdauernde oder wiederkehrende klinische Symptomatik und/oder röntgenologisch nicht sichtbare Verkleinerung der entzündlichen Läsion oder Neuerscheinung einer periradikulären Läsion

## 1.9 Studienübersicht

Unter Verwendung der von ihm entwickelten Kriterien beschrieb Strindberg 1956 eine 80,79%ige Erfolgsrate endodontisch behandelter Zähne bei einem Nachuntersuchungsintervall von vier Jahren. 16,49 % der Behandlungen galten als gescheitert, 2,71 % als ungewiss [91, 140]. Die internationale Literatur thematisierte ebenfalls die Erfolgsrate von Wurzelkanalbehandlungen. In Tabelle 1 ist eine Übersicht dokumentiert, die jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Die Erfolgsrate variiert zwischen 53 % und 97,1 % [4, 139]. Basierend auf einer Meta-Analyse unter Verwendung strenger Bewertungskriterien betrug die zusammengefasste Erfolgsrate von Wurzelkanalbehandlungen, die mindestens Jahr zurücklagen, 68 %-85 % [135]. Tabelle 2 bietet einen Überblick über die Erfolgsrate der von Studenten durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen. Da es keine spezifischen Richtlinien für die Durchführung solcher Studien gibt, wird die hohe Diskrepanz auf die große Variabilität der folgenden Kriterien zurückgeführt [133, 139, 140, 157]:

Variabilität der Kriterien:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fallzahl und deren Bewertungseinheit: Zähne oder Wurzeln</li><li>- Patientenkollektiv: Alter und Gesundheitszustand</li><li>- Erfolgs- und Misserfolgsdefinition</li><li>- Zahntyp</li><li>- Anzahl der Behandlungssitzungen</li><li>- periapikaler Zustand zu Behandlungsbeginn</li><li>- Art der Datenerfassung: klinisch und/oder röntgenologisch</li><li>- radiologische Beurteilung</li><li>- Kenntnisse und Fertigkeiten des Behandlers/der Behandlerin</li><li>- Nachuntersuchungsintervall (Follow-up-Intervall)</li><li>- Art und Anzahl der Nachuntersucher und Begutachter</li><li>- bewertete Einflussfaktoren (Längenbeurteilung/Fülltechnik/koronale Restauration)</li></ul>
-----------------------------	--

Die unterschiedlichen Kriterien und deren Verwendung erlauben nur einen begrenzten Vergleich der Studien. Daher sollten die endodontischen Erfolgsstatistiken grundsätzlich kritisch betrachtet werden [157].

### Studienübersicht zur Erfolgsrate endodontischer Behandlungen

	<b>Jahr</b>	<b>Land</b>	<b>Fälle</b>	<b>Alter</b>	<b>Erfolg [%]</b>	<b>Follow-up Periode [a]</b>
Jokinen et. al. [4]	1978	Finnland	2459 <sup>w</sup>	16-75	53	2-7
Swartz et. al. [126]	1983	USA	1770 <sup>w</sup>	<10-79	89,7	≥1
Byström et. al. [158]	1987	Schweden	79	15-83	85	2-5
Matsumoto et. al. [136]	1987	Japan	85		75	2-3
Smith et. al. [99]	1993	England	821	16+	84,3	2-5
Calışkan & Sen et. al. [134]	1996	Türkei	172	16-58	80,8	2-5
Orstravik [151]	1996	Norwegen	599 <sup>w</sup>		90	4
			126 <sup>w §</sup>		75	4
Sjögren et. al. [5]	1997	Schweden	53		83	≤5
Trope et. al. [159]	1999	USA	102	16-80	73,5	1
Weiger et. al. [6]	2000	Deutschland	67	11-84	78	1-5
Peters & Wesselink [137]	2000	Niederlande	38	19-86	76	1-4,5
Hoskinson et. al. [160]	2002	England	200		77	4-5
Marending et. al. [161]	2005	Schweiz	66		88	≥2,5
Imura et. al. [162]	2007	Brasilien	1376 <sup>§</sup>		94	≥1
Doyle et. al. [163]	2007	USA	196	18+	82	≥1
			77 <sup>§</sup>	18+	75,3	≥1
Ricucci et. al. [88]	2011	USA	1.369 <sup>w</sup>	<10-70<	90,3	5
Paredes-Vieyra et. al. [164]	2012	Mexiko	282	>16	92,9	2
Craveiro et. al. [165]	2015	Brasilien	523		85	2-10
Azim et. al. [166]	2016	USA	122 <sup>w</sup>		81,7	0,5-8

Studienübersicht zur Überlebensrate endodontischer Behandlungen						
	Jahr	Land	Fälle	Alter	Überleben [%]	Follow-up Periode [a]
Lazarski et. al. [128]	2001	USA	44.613 §	14-90 <sup>!</sup>	90,6	≥2
Aquilino & Caplan [117]	2002	USA	203	39-69	79,3	10
Tilashalski et. al. [167]	2004	USA	75	45+	81	4
Salehrabi & Rotstein [139]	2004	USA	1.462.936		97,1	8
Chen et. al. [168]	2007	Taiwan	1.557.547		92,9	5
Lumley et. al. [169]	2008	England	30.843	18+	74	10
Raedel et. al. [170]	2015	Deutschland	556.067		84,3	3
Borén et. al. [171]	2015	Schweden	420	<40-70<	81,5	10
Fransson et. al. [172]	2016	Schweden	248.299	20-102	89,8	5-6
Pirani et. al. [173]	2018	Italien	193 <sup>w §</sup>	35-61	85	4-6
Pirani et. al. [174]	2019	Italien	186	18-70	85	10
Kwak et. al. [175]	2019	Korea	2.866.749	<20-65<	90,9	5

Tabelle 1: Studienübersicht zur Erfolgsrate/ Überlebensrate endodontischer Behandlungen  
<sup>w</sup> = Wurzeln als Bewertungseinheit; § = Daten aus größerem Studienmaterial  
<sup>!</sup> = Altersangabe nach Abzug weiterer Fälle aufgrund fehlender Altersangabe)

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Kriterien wird ersichtlich, dass einige Studien den Erfolg mit dem Überleben, sprich mit dem Erhalt des Zahnes in der Mundhöhle, gleichsetzten. Deren Erfolgsrate variierte zwischen 74 % und 97,1 % [117, 128, 139, 167-172, 175, 176]. Matsumoto (1987), Weiger et. al. (2000), Polyzos et. al. (2018) und viele weitere hingegen definierten den Erfolg auf der Basis klinischer und/oder radiologischer Kriterien [5, 6, 134-137, 160, 162].

In der Literatur, die sich mit der Erfolgsrate beziehungsweise Überlebensrate endodontischer Behandlungen befasst, die von Studenten/Studentinnen unter Aufsicht durchgeführt wurden, variiert der Erfolg zwischen 56 % und 95,1 % [125, 177]. Auch hier ist die Variabilität der

bereits genannten Kriterien zu bedenken. Aufgrund der abweichenden Rahmenbedingungen solcher Studien, sind sie separat in Tabelle 2 aufgeführt [7-9, 86, 87, 112, 123, 125, 157, 177].

<b>Studienübersicht zur Erfolgsrate studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen</b>						
	<b>Jahr</b>	<b>Land</b>	<b>Fälle</b>	<b>Alter</b>	<b>Erfolg [%]</b>	<b>Follow-up Periode [a]</b>
Heling & Tamshe [86]*	1970	Israel	213	10-60	70	1-5
Kerekes [178]	1978	Norwegen	188 <sup>w</sup>		82	3-5
Kerekes & Tronstad [123]*	1979	Norwegen	501 <sup>w</sup>	10-80	91	3-5
Eriksen et. al. [179]*	1988	Norwegen	121 <sup>w §</sup>		82	3
Sjögren et. al. [87]*	1990	Schweden	849 <sup>w</sup>	28-82	91	8-10
Molven et. al. [177]*	2002	Norwegen	265 <sup>w</sup>		95,1	20-27
Cheung [125]**	2002	Hong Kong	251		56	3,5-9
Benenati & Khajotia [180]	2002	USA	894	9-80	91,05	>6
Friedman et. al. [8]**	2003	Kanada	120	≤45<	81	4-6
Farzaneh et. al. [7]**	2004	Kanada	122	≤45<	87	4-6
Marquis et. al. [9]**	2006	Kanada	132	≤45<	86	4-6
Ng et. al. [181]**	2011	England	1170 <sup>w</sup>	15+	82,8	2-4
Polyzos et. al. [112]*	2018	Griechenland	349 <sup>w</sup>	18+	72,8	2-5
<b>Studienübersicht zur Überlebensrate studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen</b>						
	<b>Jahr</b>	<b>Land</b>	<b>Fälle</b>	<b>Alter</b>	<b>Überleben [%]</b>	<b>Follow-up Periode [a]</b>
Dammaschke et. al. [157]*	2003	Deutschland	190	18-74	85,1	> 10
Ng et. al. [138]	2011	England	759	15+	95,4	2-4

Tabelle 2: Studienübersicht zur Erfolgsrate/ Überlebensrate studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen (<sup>w</sup> = Wurzeln als Bewertungseinheit; <sup>§</sup> = Daten aus größerem Studienmaterial)

Neben Untersuchungen, die sich mit der Erfolgs-/Überlebensrate befassen, wurde in weiteren Studien die Qualität studentisch erbrachter Wurzelkanalbehandlungen analysiert [182-184]. In einer Meta-Analyse, die 24 Studien beinhaltete, welche jeweils die Qualität lateral kompakter Wurzelkanalfüllungen untersuchten, variierte das Vorkommen annehmbarer Wurzelkanalfüllungen von 10,9 % bis hin zu 85,1 %. Die Häufigkeit qualitativ akzeptabler Wurzelkanalbehandlungen lag im Durchschnitt bei 48 % und wurde als niedrig eingestuft [113, 118, 119].

Die Mehrheit der gelisteten Studien (Tabelle 1 und 2) untersuchten die Erfolgsrate von lateral kompaktierten Zähnen [86-88, 99, 112, 123, 134, 137, 151, 157-159, 162, 165]. Im Rahmen der sogenannten Toronto-Studie wurden neben lateral kompaktierten auch warm-vertikal obturierte Zähne untersucht [7-9]. Hoskinson et. al. analysierten warm-vertikal abgefüllte Zähne sowie Zähne, die einer Hybridfülltechnik unterzogen wurden [160]. Lediglich in zwei Studien wurde der Erfolg unter Verwendung von Thermafil® thematisiert [173, 174].

Der Mangel an internationaler Literatur, die sich sowohl mit der Erfolgs- und Überlebensrate als auch mit der Qualität studentischer Wurzelkanalbehandlungen unter Verwendung verschiedener Obturationstechniken befasst, rechtfertigt eine wissenschaftliche Betrachtung.

## **2. Zielsetzung der Arbeit**

Gegenstand dieser Arbeit ist es, die Erfolgsrate der Wurzelkanalbehandlungen, die im Rahmen der studentischen Ausbildung im Zeitraum vom Sommersemester 2013 bis einschließlich zum Sommersemester 2017 an der Ludwig-Maximilians-Universität München in der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie durchgeführt wurden, zu evaluieren. Dabei handelt es sich um eine prospektive Kohortenstudie.

Die endodontisch behandelten Zähne wurden hinsichtlich festgelegter Parameter untersucht. Im Zusammenhang mit der Erfolgsrate sollten dabei zum einen diejenigen Faktoren herausgearbeitet werden, die direkt mit dem Erfolg der endodontischen Behandlung korrelieren. Zum anderen sollten die Parameter eruiert werden, die eine Auswirkung aufeinander haben und somit das Behandlungsergebnis indirekt beeinflussen könnten.

Neben der Erfolgsrate soll auch die Qualität studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen sowie die Überlebenswahrscheinlichkeiten, die differenziert zur Erfolgsrate zu betrachten ist, in Abhängigkeit ausgewählter Parameter eruiert werden.

### **3. Material und Methode**

#### **3.1 Patientenkollektiv**

Alle Wurzelkanalbehandlungen der Studie wurden bei Patienten/Patientinnen der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität München im Rahmen des Studentenkurses durchgeführt. Die Behandlungen erfolgten unter Aufsicht von Assistenz Zahnärzten/-ärztinnen durch Studierende des 7. und 9. Semesters der zahnmedizinischen Ausbildung sowie durch Examenskandidaten/-kandidatinnen. Nach Abschluss der Behandlungen erfolgte die Dokumentation inklusive der jeweiligen postendodontischen Röntgenaufnahme in eine für diese Studie entwickelte Datenbank.

Das Studienmaterial bestand aus den Behandlungsdaten inklusive der zugehörigen Röntgenbilder aus der Datenbank aller Patienten/Patientinnen, die sich zwischen Sommersemester 2013 bis einschließlich Sommersemester 2017 einer Wurzelkanalbehandlung unterzogen haben und mindestens ein Jahr nach der Initialbehandlung zu einer klinischen und röntgenologischen Nachuntersuchung – dem sogenannten Recall – erschienen sind. Die Recall-Daten wurden ebenfalls in die Endo-Datenbank eingepflegt und als Untersuchungsmaterial verwendet. Darüber hinaus mussten die in die Studie aufgenommenen Fälle folgende Einschlusskriterien erfüllen:

- Art der Behandlung: Initialbehandlung
- Aufbereitung des Wurzelkanalsystems mittels Mtwo® (VDW Dental)
- Obturation anhand lateraler Kompaktion, Thermafil® oder warm-vertikaler Kompaktion
- vorhandener Recall nach mindestens einem Jahr nach Abschluss der Initialbehandlung

Im Zeitraum vom Sommersemester 2013 bis einschließlich zum Sommersemester 2017 wurden 991 initiale endodontische Behandlungen durchgeführt. Nach telefonischer und/oder postalischer Kontaktaufnahme mit den Patienten/Patientinnen und unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien sowie der im Folgenden aufgeführten Ausschlusskriterien für Röntgenbilder standen für die Studie 644 wurzelkanalbehandelte Zähne mit Recall-Untersuchungen zur Verfügung.

- Ausschlusskriterien für Röntgenbilder
- unscharfe Bilder
  - Artefakte
  - Mehrfachanfertigungen des gleichen Zahnes
  - Aufnahmen des wurzelkanalbehandelten Zahnes, die weniger als ein Jahr nach der Erstbehandlung datieren
  - Bilder, auf denen die Wurzelspitze nicht abgebildet ist

In 79 Fällen erfolgte aufgrund von Patientenverweigerung oder von fehlender Erhaltungswürdigkeit des Zahnes keine röntgenologische Nachuntersuchung. Die Auswertung der Ergebnisse, bei denen die Röntgenbilder der Recalls erforderlich waren, erfolgte somit anhand von 565 Fällen.

Für die statistische Analyse der Überlebensrate mittels des Kaplan-Meier-Verfahrens wurden zu den 644 Fällen mit Recall-Untersuchung auch diejenigen ohne Nachuntersuchung hinzugezogen. Lediglich mehrfach untersuchte Fälle wurden ausgeschlossen. Es wurden 957 Fälle integriert. Abbildung 5 gibt eine Übersicht der in die Studie integrierten Behandlungsfälle.

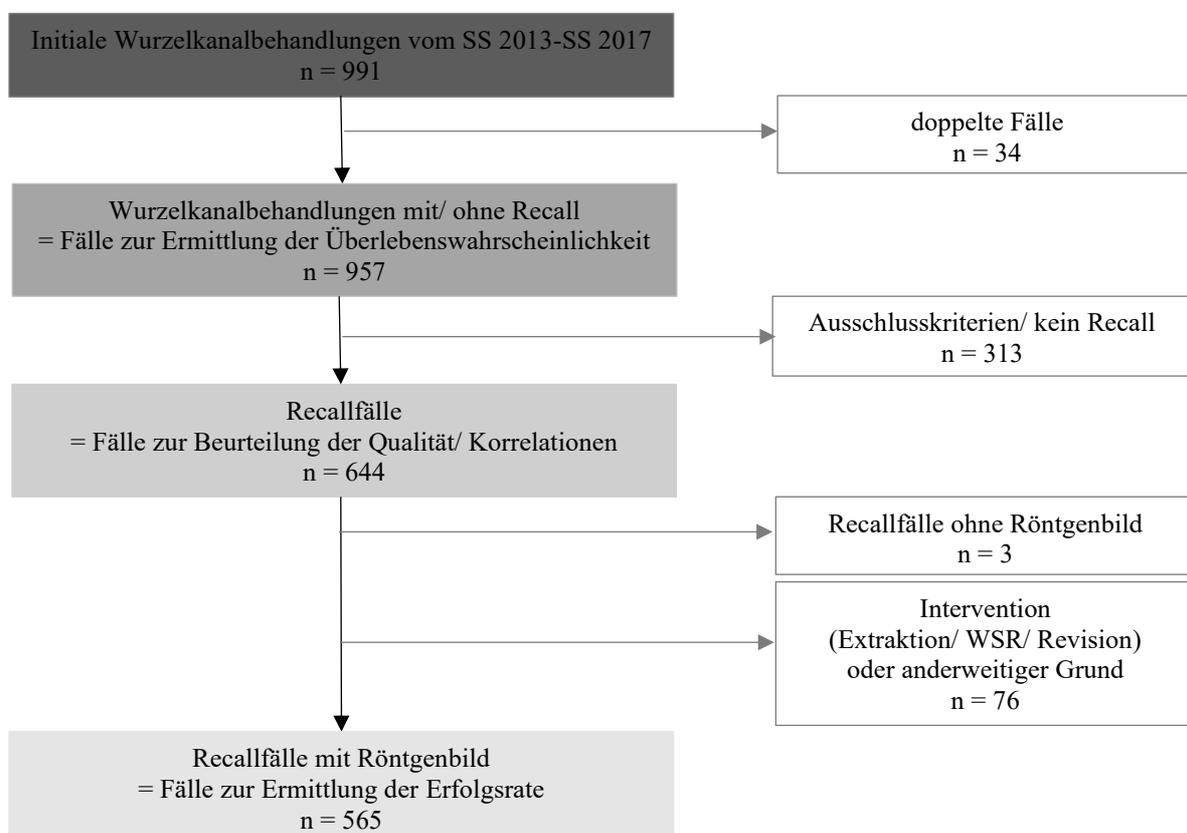


Abbildung 5: Flowchart der Studie

## **3.2 Röntgeneinrichtung**

Die für die Studie verwendeten Röntgenbilder wurden bis einschließlich Juni 2015 mit der Röntgeneinrichtung Heliodont DS D3302 SE 60/ 70 in Kombination mit dem Sensor XCP DS Sensor Intraoral II von Sirona® erstellt. Nach diesem Zeitraum erfolgte die Anfertigung der Röntgenbilder unter Verwendung desselben Sensors mit der Röntgeneinheit Heliodont DS D3302 P470, ebenfalls von Sirona®. Die Röhrenspannung wurde auf 62-69 kV bei einer Stromstärke von 8 mA eingestellt. Die Belichtungszeit betrug in Abhängigkeit der Zahnregion zwischen 0,06-0,08 sec.

## **3.3 Methodik**

### **3.3.1 Recall-Verfahren und Ermittlung der Erfolgsquote**

Im Rahmen des Recall-Termins erfolgte sowohl eine klinische als auch eine röntgenologische Untersuchung des wurzelkanalbehandelten Zahnes.

Vorab fand eine Befragung über eventuell aufgetretene Beschwerden oder sonstige Auffälligkeiten nach der Behandlung statt. Im Falle der bereits erfolgten Extraktion wurde der Patient nach dem Grund gefragt. Die klinische Untersuchung umfasste die visuelle und taktile Inspektion des Zahnes und dessen koronale Versorgung, gefolgt von einem Perkussionstest und der Erhebung der Taschensondierungstiefen (TST). Die umliegende Region wurde auf Druckdolenz und andere Auffälligkeiten untersucht. Im Anschluss wurde ein apikaler Zahnfilm bei einer Röhrenspannung von 62-64 kV, einer Stromstärke von 8 mA und einer Belichtungszeit von 0,06-0,08 sec angefertigt. Die Befunderhebung inklusive des angefertigten Röntgenbildes wurde als Recall in der Datenbank dokumentiert.

Die Erfolgsquote der Wurzelkanalbehandlungen wurde in Abhängigkeit vom PAI eruiert. Anhand der röntgenologischen Verlaufskontrolle ließ sich durch den Vergleich des PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung mit dem PAI-Wert zum Zeitpunkt des Recalls auf die Reduktion beziehungsweise Aggravation der röntgenologisch sichtbaren Entzündungszeichen – falls vorliegend – und somit auf die Erfolgs-/Misserfolgsquote rückschließen. Zudem wurde der Einfluss verschiedener Parameter auf die Erfolgsquote ermittelt.

### 3.3.2 Parameter der Datenbank und weitere Kriteriendefinitionen

Die Endo-Datenbank diente der Datenerfassung der ursprünglichen Wurzelkanalbehandlung durch den Studierenden sowie der Recall-Untersuchung.

#### Parameter der Wurzelkanalbehandlung

Von den initialen Behandlungsdaten wurden folgende Parameter zur Auswertung der Ergebnisse hinzugezogen:

- Zahn
- Diagnose

Die Diagnose ergab sich aus klinischen und röntgenologischen Befunden. Es erfolgte eine Unterteilung in asymptomatische oder symptomatische irreversible Pulpitis, Pulpanekrose (ohne periradikuläre Beteiligung), asymptomatische oder symptomatische apikale Parodontitis und vitale Pulpa (Trauma/Devitalisation).

- PAI nach D. Ørstavik

Hier konnte zum Zeitpunkt der Diagnosestellung innerhalb der fünf Schweregrade gewählt werden, wobei die Grade 1 und 2 einen gesunden Periapex und die Grade 3, 4 und 5 einen erkrankten Periapex repräsentierten.

- Alter und Geschlecht

- Anamnestiche Angaben

Es erfolgte jeweils eine Ja-Nein-Entscheidung hinsichtlich des Vorliegens von Diabetes, einer Leber- oder Herzerkrankung und einer Immunsuppression. Hinsichtlich des Nikotinabusus konnte zwischen ja, nein und unbekannt gewählt werden.

- Fülltechnik  
Es erfolgte eine Unterteilung in laterale Kompaktion, Thermafil und warm-vertikale Obturation.
  
- Beurteilung der Homogenität  
Hier konnte zwischen dicht/homogen und undicht/inhomogen beurteilt werden.
  
- Beurteilung der Länge  
Es erfolgte eine Unterteilung in
  - ideal
  - zwischen 1-2 mm zu kurz (short filling)
  - über 2 mm zu kurz (extremly short filling)
  - apikal puff (überpresster Sealer)
  - massiv überfüllt.

Die Bewertungen ideal und short filling galten gemeinsam als die Kategorie „ideal“, extremly short filling galt als „zu kurz“ und apikal puff sowie massiv überfüllt als „zu lang“.

## Parameter der Recall-Untersuchung

### Endodatenbank Endo-MUC

Hinzufügen zu Recall

[Zurück](#)

Endo Nr.	3534
Datum des Recalls *	<input type="text"/>
Recallabbruch *	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
_falls Abbruch, Grund	Bitte auswählen ▼
Zahn wurde bereits extrahiert	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
Grund für Extraktion	Bitte auswählen ▼ <a href="#">Hinzufügen Grund für Extraktion</a>
Zahn beschwerdefrei?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
Perkussion positiv?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
tiefste TST am Endozahn in mm	<input type="text"/>
Fistel?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
apikale Druckdolenz?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
Frakturzeichen?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
koronaler Verschluss intakt?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
aktuelle koronale Versorgung	Bitte auswählen ▼
wenn Füllung koronal, welches Material	Bitte auswählen ▼
Approximalkontakt (entfällt bei Teleskopen)	Bitte auswählen ▼
Stiftversorgung?	<input type="radio"/> nein <input type="radio"/> ja
PAI (periapikaler Index) ?	Bitte auswählen ▼
Röntgenbild	<input type="text"/>
<input type="button" value="Durchsuchen..."/>	

Abbildung 6: Datenbankmaske zur Erfassung der Recall-Untersuchung

Folgende Parameter wurden im Rahmen des Recalls aufgenommen:

- Datum des Recalls
- Recall-Abbruch?

Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung. Im Falle eines „Ja“ wurde der Grund eruiert. Als Optionen standen nicht erreicht, unbekannt verzogen, keine Zeit, keine Behandlung an der Klinik mehr gewünscht, Patient/-in verstorben, Zahn ad ex, Zahn wurde bereits revidiert und Wurzelspitzenresektion (WSR) zur Auswahl.

- Zahn wurde bereits extrahiert?

Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung. Bei einer Bejahung der Frage wurde versucht, den Grund für die Extraktion festzustellen. Möglichkeiten waren beispielsweise: endodontischer, prothetischer

oder parodontaler Misserfolg, Fraktur oder Patient/-in erinnert sich nicht.

- Zahn beschwerdefrei? Es wurde eine Ja-Nein-Entscheidung getroffen. Anhand dieses Parameters ließ sich auf die Schmerzsymptomatik schließen.
- Perkussion positiv? Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung.
- Taschensondierungstiefe (TST) Angabe der tiefsten TST am Endozahn in mm.
- Fistel? Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung.
- apikale Druckdolenz? Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung.
- Frakturzeichen? Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung.
- koronaler Verschluss intakt? Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung.
- aktuelle koronale Versorgung: Es konnte zwischen Teil- oder Einzelzahnkrone, Krone als Brückenpfeiler, Teleskop und Füllung gewählt werden. Bei den indirekten Restaurationsmöglichkeiten wurde angegeben, ob es sich um eine bereits bestehende präendodontische Restauration mit Kompositverschluss oder um eine Neuanfertigung handelte. Im Falle einer koronalen Füllung wurden zusätzlich das verwendete Material (Komposit, Glasionomierzement (GIZ) oder Cavit), das verwendete Konditionierungssystem (total etch oder self etch) und die Anzahl der versorgten Flächen angegeben.

- Approximalkontakt: Es erfolgte eine Unterteilung, ob der Approximalkontakt mesial und/oder distal oder überhaupt nicht vorhanden war. Bei Teleskopen entfiel die Angabe.
- Stiftversorgung? Es erfolgte eine Ja-Nein-Entscheidung.
- PAI nach D. Ørstavik: Hierbei konnte innerhalb der fünf Schweregrade gewählt werden. Der Vergleich des PAI zum Ausgangszeitpunkt mit dem PAI-Wert des Recalls erlaubte die Feststellung einer möglichen Veränderung des periapikalen Status [15].

#### Weitere Kriteriendefinitionen

- Gesamtqualität Hinsichtlich der Länge und Homogenität der Wurzelkanalfüllung wurde jeweils die Gesamtqualität bewertet.
- Zahntyp Bei Betrachtung des Zahntyps wurde zwischen den vier morphologischen Typen unterschieden - Frontzähne, Eckzähne, Prämolaren und Molaren. Im Zusammenhang mit der Überlebenswahrscheinlichkeit wurde zusätzlich zwischen Maxilla und Mandibula differenziert.
- Erfolg und Misserfolg Als Behandlungserfolg wurden diejenigen Fälle betrachtet, die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung einen PAI von 1 oder 2 aufwiesen und somit als „gesund“ eingestuft wurden. Im Umkehrschluss wurden die

Grade 3, 4 und 5 als „erkrankt“ erachtet und repräsentierten den Misserfolg der Behandlung.

- Überleben

Im Zusammenhang mit der Überlebenswahrscheinlichkeit wurde das Überleben mit der Funktionalität des Zahnes, das heißt über dessen Vorhandensein in der Mundhöhle definiert.

### **3.3.3 Beurteilung der Röntgenbilder**

Für die Dokumentation in die Endo-Datenbank wurde die Wurzelkanalfüllung auf dem Röntgenbild nach Abschluss der Behandlung bezüglich der Länge und Homogenität beurteilt. Sowohl das präendodontische Diagnoseröntgenbild als auch das Röntgenbild im Rahmen des Recalls wurden hinsichtlich des periapikalen Zustandes befundet. Dafür wurde der PAI nach Ørstavik angewandt. Die Befundung der Bilder erfolgte in drei Durchgängen: Der erste Durchlauf wurde vom jeweiligen behandelnden Studierenden durchgeführt, der zweite erfolgte durch die Verfasserin, die vorab durch den endodontischen Spezialisten und wissenschaftlichen Betreuer der Studie Dr. med. dent. C. Diegritz ausführlich hinsichtlich der Röntgenbefundung unterwiesen wurde. Der letzte Durchgang wurde gemeinsam vom genannten Spezialisten und der Verfasserin ausgeführt. Im Falle divergierender Beurteilungen, erfolgte eine Konsensusbildung. Die Befundung fand ohne störende Einflüsse in einem ruhigen Raum statt, den die Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie zur Verfügung stellte. Unter der Verwendung des Softwareprogramms Sidexis von Sirona® wurden die Röntgenaufnahmen an einem 22 Zoll großen Flachbildmonitor der Marke LG® (LG Flatron E2210) analysiert. Bei Bedarf wurden Optionen wie Helligkeitsanpassung, Kontrastanpassung und die digitale Lupe verwendet. In regelmäßigen Abständen wurde eine kurze Pause eingelegt, um die Konzentration zu fördern und um eine potentielle Ermüdung der Augen vorzubeugen. Bei unklaren Befunden war eine Rücksprachemöglichkeit mit dem Betreuer jederzeit möglich. Im Zuge der Beurteilung der endodontisch therapierten Zähne wurde jeder Zahn in seiner Gesamtheit betrachtet. So galt bei mehrwurzeligen Zähnen, dass in Abhängigkeit vom

betrachteten Parameter diejenige Wurzel, die am schlechtesten beurteilt wurde, stellvertretend für den gesamten Zahn galt.

Nach Abschluss der Röntgenbeurteilung wurde zur Ermittlung der intraobserver variability eine randomisierte Stichprobe von 50 Röntgenbildern von der Verfasserin erneut nachbefundet. Diese Stichprobe wurde zudem vom Betreuer der Arbeit beurteilt, um die interobserver variability zu bestimmen. Analog der gesamten Röntgenbefundung, wurden die Röntgenbilder der Stichprobe ebenfalls in einem Raum ohne störende Einflüsse unter Verwendung des Softwareprogramms Sidexis von Sirona® am gleichen Monitor analysiert. Die Beurteilung der Röntgenbilder durch den Betreuer und die Verfasserin erfolgte getrennt voneinander. Dabei wurden diese in einem Abstand von einer Woche jeweils von beiden Begutachtern in zwei Durchgängen befundet. Der Kappa Cohen betrug im Zusammenhang mit dem PAI, der Länge beziehungsweise der Homogenität 0,76, 0,88 beziehungsweise 0,83. Bei der interobserver variability betrug er beim periapikalen Index 0,78 und im Zuge der Längen-/Homogenitätsbeurteilung 0,67 und 0,61.

### **3.3.4 Vorgehen zur Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit**

Für die Evaluierung der Überlebenswahrscheinlichkeit wurden alle Behandlungen sowohl mit als auch ohne Recalluntersuchung inkludiert. Lediglich mehrfach untersuchte Zähne wurden ausgeschlossen. Dabei wurde betrachtet, ob der Zahn in situ war (Funktionalität). Klinische und röntgenologische Faktoren wurden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt. Die Intervention in Form einer Extraktion wurde als Nicht-Überleben erachtet. Dabei erfolgte keine genauere Differenzierung hinsichtlich der Ursache. Die geschätzte Überlebensrate wurde unter Verwendung des Kaplan-Meier-Verfahrens ermittelt, das aufgrund der geringen Recall-Rate nach fünf oder mehr Jahren bei fünf Jahren zensiert wurde. Bei existierendem Recall wurde bei vorhandener Funktionalität das Datum der Nachuntersuchung und im Falle des Nicht-Überlebens das Datum der Extraktion dokumentiert. Bei nicht vorhandenem Recall wurde die Observationsperiode auf fünf Jahre nach dem Behandlungsende begrenzt.

### **3.3.5 Statistische Auswertung**

Die statistische Analyse und Datenverarbeitung erfolgte unter Verwendung des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics® für Windows, Version 26.0. Im Zusammenhang mit der Erfolgsrate sowie der Korrelationen zwischen den Parametern wurden signifikante Unterschiede anhand des Pearson-Chi-Square-Test erhoben.

Über den Beobachtungszeitraum von fünf Jahren wurden unter Verwendung des Kaplan-Meier-Verfahrens, das die kumulative Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Zeit erfasst, die geschätzte Überlebensrate (isoliert) und die Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern ermittelt. Zur Erfassung der signifikanten Zusammenhänge wurde der Log-Rank-Test verwendet. Das Signifikanzniveau wurde sowohl beim Pearson-Chi-Square-Test als auch beim Log-Rank-Test auf  $p = 0,05$  festgelegt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Allgemeine Ergebnisse zum Patientenkollektiv

Zunächst werden allgemeine, auf das Patientenkollektiv bezogene Ergebnisse erläutert. Zu diesen zählen demographische Daten, anamnestische Angaben, gestellte Diagnosen sowie die angewandten Fülltechniken.

#### 4.1.1 Patientenkollektiv in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Abbildung 7 zeigt die Verteilung des Patientenkollektivs in Dekaden. Bei einem durchschnittlichen Recall-Zeitraum von 33,2 Monate und einer Recall-Rate von 65 % wurde folgendes ersichtlich: Der jüngste Patient der Studie war 16 Jahre alt, der älteste 88 Jahre. Mit 19,9 % (n = 128) war die Altersklasse von 40 bis 49 Jahre am häufigsten vertreten, gefolgt von der Altersgruppe 50 bis 59 Jahre. Mit 0,6 % (n = 4) machte die Altersklasse 10 bis 19 Jahre den geringsten Patientenanteil aus. Der Altersdurchschnitt lag bei 52,4 Jahren.

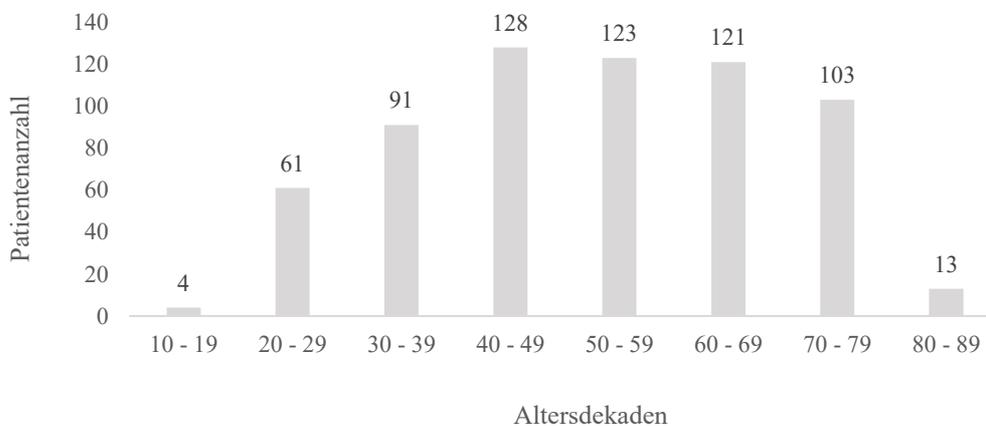


Abbildung 7: Altersverteilung des Patientenkollektivs

Der männliche Anteil des Patientenkollektivs lag mit 61,2 % (n = 394) deutlich höher als der weibliche mit 38,8 % (n = 250).

#### 4.1.2 Patientenverteilung hinsichtlich anamnestischer Angaben

Abbildung 8 stellt das Patientenkollektiv hinsichtlich anamnestischer Angaben dar. Ausgehend von den 644 Patientenfällen gaben 15,1 % (n = 97) an, Raucher zu sein, bei weiteren 21,1 % (n = 136) war der Raucherstatus nicht bekannt. Mit 21,6 % (n = 139) war eine Herzerkrankung die am häufigsten angegebene Erkrankung. Am seltensten wurden Lebererkrankungen erwähnt.

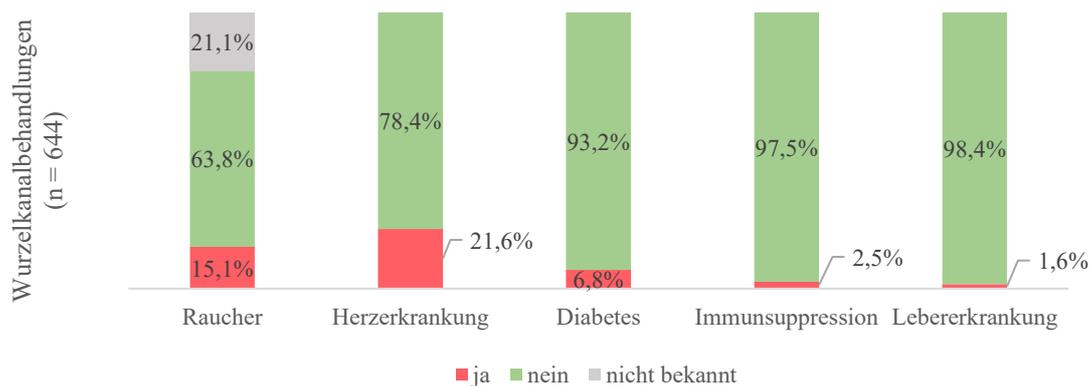


Abbildung 8: Patientenverteilung hinsichtlich anamnestischer Angaben

#### 4.1.3 Patientenverteilung hinsichtlich der gestellten Diagnose

Bei 34 % (n = 219) der untersuchten Zähne wurde eine symptomatische irreversible Pulpitis diagnostiziert. 31,4 % (n = 202) der Zähne hatten eine symptomatische apikale Parodontitis. Am seltensten gingen Zähne mit einer (traumatischen) Devitalisation einher. Insgesamt wiesen 40,6 % (n = 261) der Zähne initial eine apikale Läsion auf, in 59,4 % (n = 383) der Fälle lag keine periapikale Veränderung vor. Abbildung 9 stellt die Aufschlüsselung der Diagnosen dar.

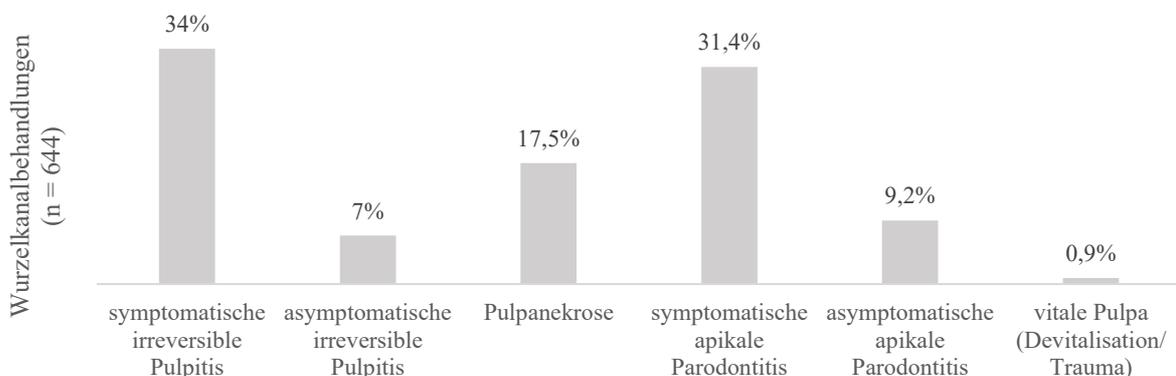


Abbildung 9: Verteilung der Zähne hinsichtlich der gestellten Diagnose

#### **4.1.4 Patientenverteilung hinsichtlich der angewandten Fülltechnik**

Die Obturation der Zähne, die im Rahmen der Studie untersucht wurden, erfolgte anhand von lateraler Kompaktion, Thermafil und warm-vertikaler Fülltechnik. In beinahe der Hälfte der Fälle (48,4 %; n = 312) wurde Thermafil angewandt. 37,9 % (n = 244) der Wurzelkanalbehandlungen wurden lateral kompaktiert, in den verbliebenen 13,7 % (n = 88) wurden die Wurzelkanäle mit warm-vertikaler Obturationstechnik abgefüllt.

## 4.2 Ergebnisse zu den untersuchten Zähnen

Im Folgenden wird auf die Ergebnisse hinsichtlich der untersuchten Zähne eingegangen. Dabei wurde die Gesamtqualität, bemessen anhand der Wurzelfülllänge und Homogenität, die Erfolgsquote anhand des PAIs und die Überlebenswahrscheinlichkeit jeweils in Abhängigkeit verschiedener Parameter untersucht.

### 4.2.1 Behandlungsqualität

Bei Betrachtung der Wurzelfülllänge, der Homogenität und der daraus resultierenden Gesamtqualität wurde folgendes ersichtlich:

#### Beurteilung der Gesamtqualität

Übersicht zur Gesamtqualität		Homogenität/ Dichtigkeit [n]		Gesamt
		Homogen	Inhomogen	
Wurzelfülllänge [n]	Ideal	50,0 % [322]	5,9 % [38]	55,9 % [360]
	1-2mm zu kurz	14,0 % [90]	1,9 % [12]	15,8 % [102]
	Apikal Puff	18,0 % [116]	0,3 % [2]	18,3 % [118]
	Massiv überfüllt	5,1 % [33]	0,6 % [4]	5,7 % [37]
	Über 2mm zu kurz	3,7 % [24]	0,5 % [3]	4,2 % [27]
Gesamt		90,8 % [585]	9,2 % [59]	<b>100 % [644]</b>

Tabelle 3: Übersicht zur Gesamtqualität bemessen an der Wurzelfülllänge und Homogenität

Tabelle 3 gibt eine detaillierte Aufschlüsselung über Verteilung der Gesamtqualität - bemessen an der Wurzelfülllänge und Dichtigkeit - wieder. Ausgehend von 644 endodontisch behandelten Zähnen wiesen insgesamt 64 % (n = 412) eine ideale Gesamtqualität (ideale/ 1-2 mm zu kurze Wurzelfüllung und homogen) auf. 18 % (n = 116) der Zähne gingen mit einer akzeptablen Gesamtqualität (apikal Puff und homogen) einher und in 18 % (n = 116) der Fälle war die

Qualität der Wurzelkanalfüllung unzureichend (massiv überfüllt/ über 2 mm zu kurz und/ oder inhomogen).

### Beurteilung der Wurzelfülllänge

Abbildung 10a stellt die Verteilung der Wurzelfülllänge gemäß den fünf Bewertungsmöglichkeiten dar. Mit 55,9 % (n = 360) wies über die Hälfte der Fälle eine am radiologischen Apex endende Wurzelfüllung und somit eine ideale Länge auf. In 15,8 % (n = 102) der Fälle wurde eine 1-2 mm zu kurze (short filling) Wurzelfülllänge verzeichnet und 18,3 % (n = 118) der Zähne waren mit einem apikalen Puff assoziiert. Die geringsten Anteile machten jeweils diejenigen Wurzelfüllungen aus, die als massiv überfüllt oder als mehr als 2 mm zu kurz (extremly short filling) eingestuft wurden.

Zu Vergleichszwecken mit anderen internationalen Studien wurden die ursprünglich fünf Beurteilungsmöglichkeiten der Länge in der gebräuchlichen Dreistufenskala zusammengefasst: ideal, zu kurz, zu lang (siehe Abbildung 10b). Die Kategorien „ideal“ und „short filling“ zusammen machten mit 71,7 % (n = 462) die Wurzelfüllungen mit idealer Länge aus. Als zu lang galten 24,1 % (n = 155), die aus den Fällen mit apikalem Puff und den massiv überfüllten Fällen resultierten. Die verbleibenden 4,2 % (n = 27) waren zu kurz.

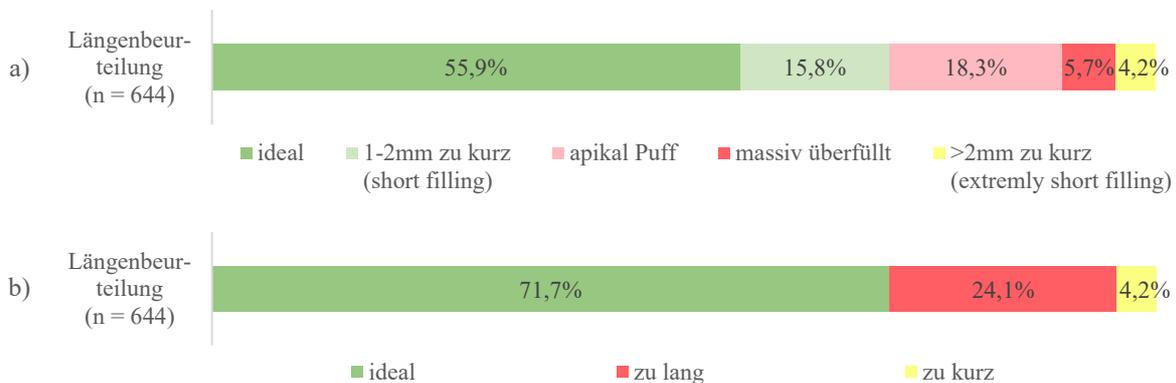


Abbildung 10: Beurteilung der Wurzelfülllänge anhand: a) der fünf Bewertungskriterien; b) der Dreistufenskala

### Beurteilung der Homogenität

Knapp über 90 % (n = 585) der Wurzelkanalfüllungen wurden als dicht und homogen beurteilt. Lediglich 9,2 % (n = 59) galten als undicht.

#### 4.2.1.1 Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik und dem Zahntyp

Aus den Ergebnissen ging ein signifikanter Zusammenhang der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik ( $p = 0,001$ ) hervor. Hinsichtlich des Zahntyps könnte keine Signifikanz festgestellt werden ( $p = 0,068$ ).

#### Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik

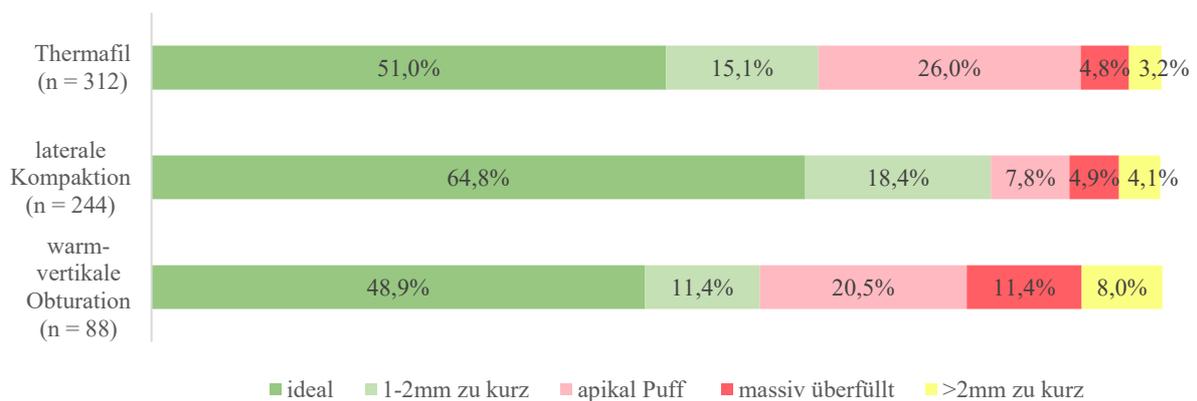


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik

In Abbildung 11 wird die Beurteilung der Wurzelfülllänge in Abhängigkeit von der Obturationstechnik schematisch dargestellt ( $p = 0,001$ ). 64,8 % ( $n = 158$ ) aller lateral kompaktierten Zähne wiesen eine ideale Wurzelfülllänge auf. Der Anteil der Zähne mit adäquater Wurzelfülllänge bei Thermafil beziehungsweise bei warm-vertikaler Obturationstechnik lag dagegen knapp über der Hälfte beziehungsweise knapp unter der Hälfte. Die prozentuale Differenz bei Wurzelkanalfüllungen mit apikalem Puff zwischen Thermafil (26,0 %;  $n = 81$ ) und warm-vertikaler Obturation (20,5 %;  $n = 18$ ) betrug 5,5 % und machte bei beiden Fülltechniken den zweitgrößten Anteil aus. Dabei ist zu beachten, dass die Fallzahl der Behandlungen, bei denen eine warm-vertikale Obturation vorgenommen wurde, deutlich niedriger lag als die Fallzahl der Behandlungen, bei denen Thermafil verwendet wurde. Bei lateral kompaktierten Wurzelkanalfüllungen waren lediglich 7,8 % ( $n = 19$ ) mit einem apikalen Puff assoziiert, 18,4 % ( $n = 45$ ) wurden als 1-2 mm zu kurz befundet. Die über 2 mm zu kurzen Füllungen machten bei allen drei Obturationsverfahren den geringsten Anteil aus.

## Korrelation zwischen der Wurzelfülllänge und dem Zahntyp

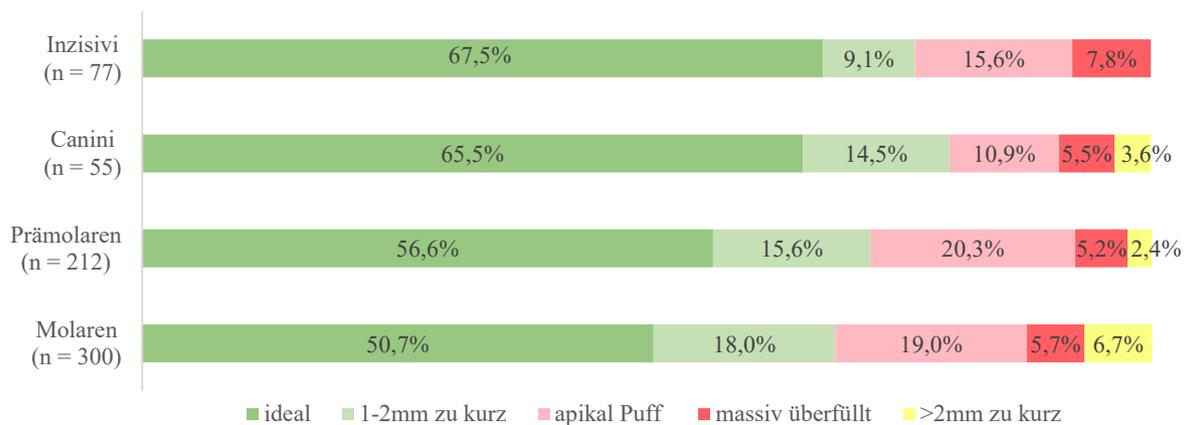


Abbildung 12: Korrelation zwischen der Wurzelfülllänge und dem Zahntyp

Bei der isolierten Betrachtung der Wurzelfülllänge war zu erkennen, dass der Anteil der endodontischen Behandlungen mit idealer Fülllänge mit zunehmender Position des Zahntyps nach distal geringer wurde (siehe Abbildung 12). Eine ideale Wurzelfülllänge hatten 67,5 % (n = 52) der Inzisiven, 65,5 % (n = 36) der Canini und 56,6 % (n = 120) der Prämolaren. Bei den Molaren lag der Wert dagegen knapp über 50 %. Ebenfalls mit zunehmender Position des Zahntyps nach posterior vermehrten sich die Fälle, bei denen die Fülllänge um 1-2 mm zu kurz war. 9,1 % (n = 7) der Wurzelkanalfüllungen der Inzisiven wurde als 1-2 mm zu kurz beurteilt, bei den Molaren war der Prozentsatz doppelt so hoch (18 %; n = 54). Mit 20,3 % (n = 43) wiesen Prämolaren am ehesten einen apikalen Puff auf, gefolgt von den Molaren. Inzisiven waren mit 7,8 % (n = 6) am häufigsten massiv überfüllt. Über 2 mm zu kurze Wurzelfüllungen machten bei Eckzähnen, Prämolaren und Schneidezähnen den geringsten beziehungsweise keinen Anteil aus. Das Ergebnis war nicht signifikant (p = 0,068).

### **4.2.1.2 Korrelation zwischen der Homogenität und der Fülltechnik und dem Zahntyp**

Im Zusammenhang mit der Homogenität ging angewandte Fülltechnik als signifikant hervor (p = 0,003). Der Zahntyp ergab sich als nicht signifikant (p = 0,391).

## Zusammenhang zwischen der Homogenität und der Fülltechnik

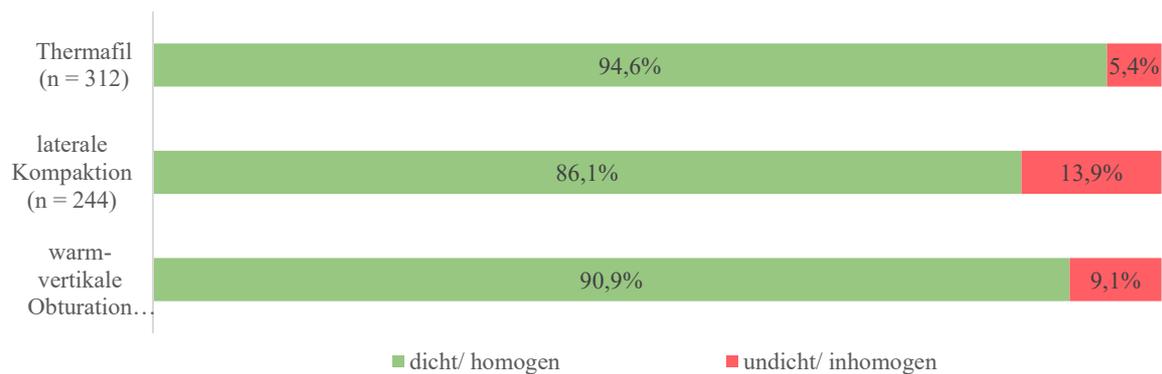


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen der Homogenität und der Fülltechnik

Abbildung 13 zeigt, dass in Anbetracht aller drei Fülltechniken jeweils die Mehrheit der Obturationen dicht und homogen waren. Lediglich bei der lateralen Kompaktion lag der Anteil dicht und homogen gefüllter Zähne unter 90 %. 13,9 % (n = 34) waren undicht/ inhomogen. Vergleichsweise lag dieser Wert bei warm-vertikalen Obturationen bei 9,1 % (n = 8) und bei Thermoafil bei 5,4 % (n = 1). Die Ergebnisse waren signifikant (p = 0,003).

## Korrelation zwischen der Homogenität und dem Zahntyp

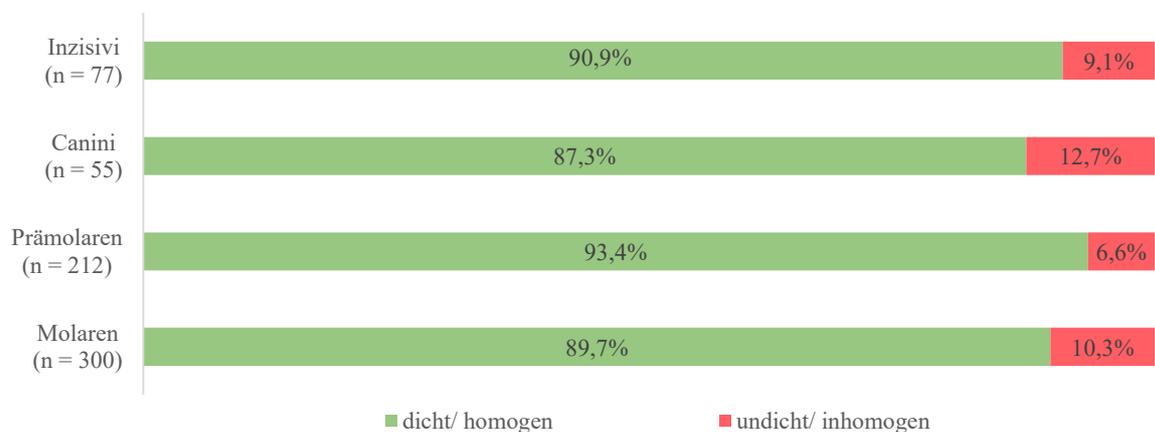


Abbildung 14: Korrelation zwischen der Homogenität und dem Zahntyp

In Abhängigkeit des Zahntyps wurden zwischen 87,3 % und 93,4 % der Obturationen als dicht und homogen beurteilt (siehe Abbildung 14). Mit 93,4 % (n = 189) wurde die Wurzelkanalfüllung von Prämolaren am häufigsten als dicht und homogen befundet. Bei den Molaren, deren Fallzahl am höchsten war, waren es 89,7 % (n = 269). Eckzähne galten am häufigsten als undicht und inhomogen. Die Korrelation zeigte keine Signifikanz (p = 0,391).

## 4.2.2 Behandlungserfolg

### 4.2.2.1 Beurteilung des präendodontischen periapikalen Status, des Recalls und deren Gegenüberstellung

#### Beurteilung des präendodontischen periapikalen Status mittels PAI

Abbildung 15 stellt die PAI-Beurteilung zum Zeitpunkt der Diagnosestellung schematisch dar. 59,3 % (n = 382) der 644 zu behandelnden Zähne wurden mit einem periapikalen Index von 1 oder 2 bewertet, der auf einen gesunden periapikalen Zustand hindeutete. Die verbleibenden 41,7 % (n = 262) waren mit einem PAI von 3, 4 oder 5 assoziiert. Bei 28,6 % (n = 184) der Zähne lag ein PAI von 4 vor. Den geringsten Anteil machten mit 3,6 % (n = 23) diejenigen Fälle aus, bei denen zum Zeitpunkt der Diagnosestellung der periapikale Index 5 vorlag.

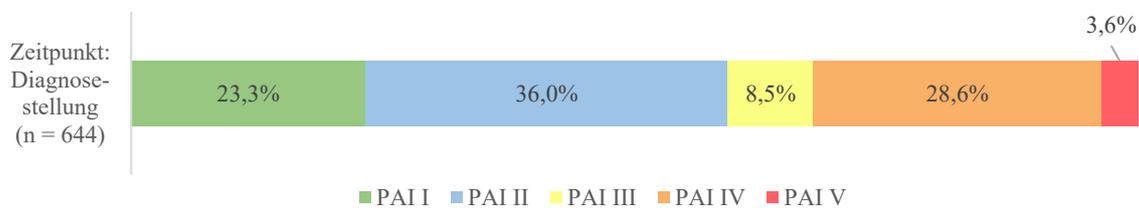


Abbildung 15: Beurteilung des periapikalen Status zum Zeitpunkt der Diagnosestellung anhand des PAI

#### Beurteilung des periapikalen Status bei der Recall-Untersuchung mittels PAI

Zum Zeitpunkt des Recalls (siehe Abbildung 16), der mindestens ein Jahr nach der Initialbehandlung stattfand, wurde bei annähernd 75 % der endodontisch behandelten Zähne ein gesunder periapikaler Status festgestellt. 37,7 % (n = 243) hatten einen PAI von 1 und 35,2 % (n = 227) einen PAI von 2. 14,7 % der nachuntersuchten Fälle hatten einen periapikalen Index zwischen 3 und 5, wobei lediglich 1,2 % (n = 8) einen PAI von 5 aufwiesen. Bei 12,3 % (n = 79) der Nachuntersuchungen wurde aufgrund fehlender Erhaltungswürdigkeit des Zahnes oder Patientenverweigerung kein Röntgenbild angefertigt.

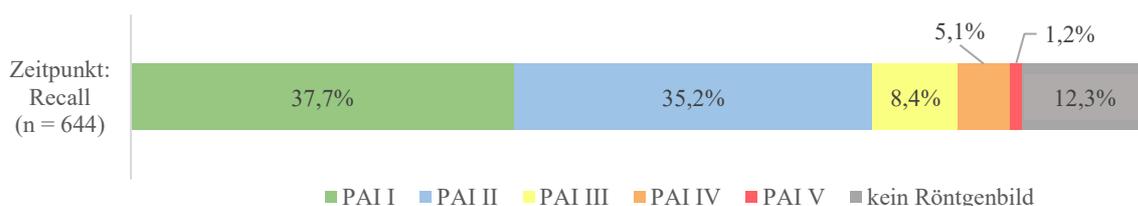


Abbildung 16: Beurteilung des periapikalen Status mittels PAI bei der Recall-Untersuchung

## Gegenüberstellung des PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung und der Recall-Untersuchung

Aufgrund der Tatsache, dass von 79 der endodontisch behandelten Zähne kein neues Röntgenbild erstellt wurde, erfolgte der Vergleich des PAI bei Behandlungsbeginn mit demjenigen des Recalls unter Ausschluss dieser Fälle und somit anhand von 565 Fällen.

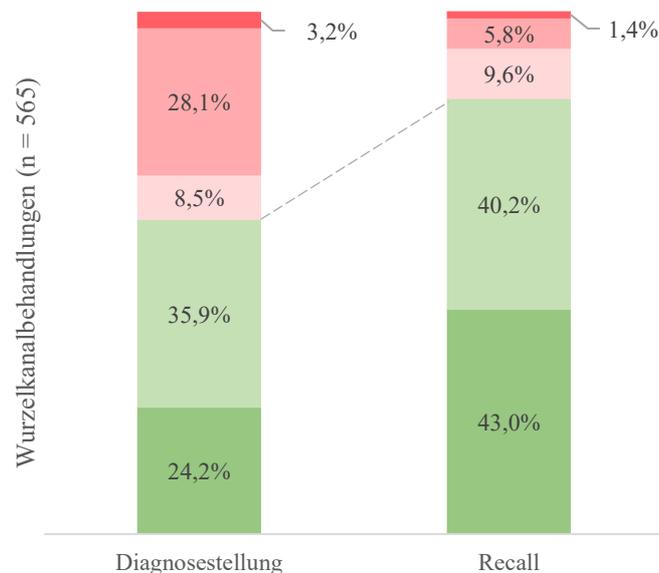
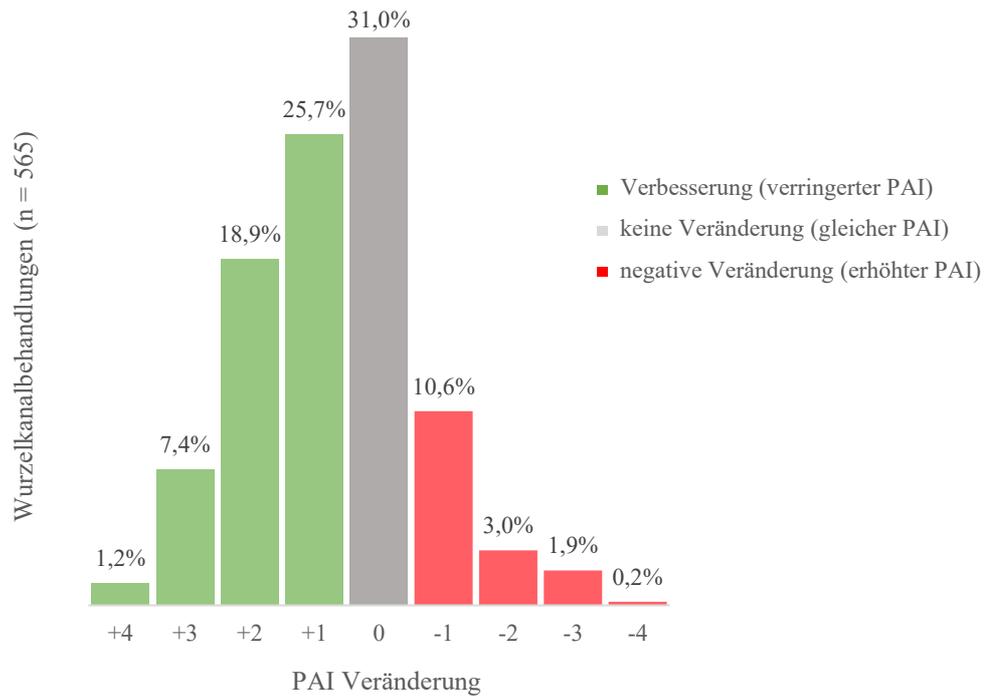


Abbildung 17: Vergleich des PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung und der Recall-Untersuchung

Initial lag der durchschnittliche PAI bei 2,5 und zum Zeitpunkt der Recall-Untersuchung bei 1,82, was einer Verbesserung von 0,68 entsprach. Sowohl der Anteil der endodontisch behandelten Zähne mit einem PAI von 1 als auch der Anteil der Zähne mit einem PAI von 2 nahm vom Zeitpunkt der Diagnosestellung bis zur Recall-Untersuchung zu. Somit stieg der Anteil gesunder Zähne um insgesamt 23,1 % (n = 150). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung betrug der Anteil der Zähne mit einem PAI von 4 bei 5,8 % (n = 33), initial lag er bei 28,1 % (n = 159). Auch der Anteil der Zähne mit einem PAI von 5 war zum Recall geringer. Lediglich in der Kategorie PAI 3 nahm der Anteil zu. Zum Zeitpunkt der Diagnosestellung wurde bei insgesamt 39,9 % (n = 225) der Zähne ein pathologischer apikaler Prozess festgestellt. Vergleichsweise lag der Wert bei den Recall-Untersuchungen bei 16,8 % (n = 95; siehe Abbildung 17).



Recall (n = 565)	Erfolg/geheilt (PAI ≤ 2)	Misserfolg/erkrankt (PAI ≥ 3)	Verbesserung	Keine Veränderung	Verschlechterung
		83,2% (n=470)	16,8% (n=95)	53,2% (n=301)	31% (n=175)

Abbildung 18: Darstellung der Gradveränderung des PAI

Abbildung 18 stellt dar, um wie viele PAI Grade sich die einzelnen periapikalen Indizes veränderten. Insgesamt wurde bei 53,2 % (n = 301) der 565 untersuchten Zähne eine Verbesserung des PAI registriert. Annähernd die Hälfte dieser Zähne zeigte eine PAI Veränderung um einen Grad. Bei 1,2 % (n = 7) lag eine Verbesserung um 4 Grade vor und somit eine Veränderung von einem initialen PAI von 5 auf 1. 15,7 % (n = 89) der Zähne wiesen eine Verschlechterung des periapikalen Index auf. Auch hier war die Veränderung um einen Grad am häufigsten. In 11 Fällen wurde eine Verschlechterung des periapikalen Status um drei Grade konstatiert, bei einem Zahn sank der PAI um vier Grade, das entspricht einem Abfall von PAI 1 auf PAI 5. Zwischen dem initialen PAI und dem PAI der Recall-Untersuchung zeigten 31 % (n = 175) der untersuchten Zähne keine Veränderung.

Das Ergebnis hinsichtlich der Veränderung des Ausgangs-PAIs zu dem des Recalls war signifikant (p = 0,000).

#### 4.2.2.2 Periapikaler Status in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern

Im Zusammenhang mit dem periapikalen Status erwiesen sich die präendodontischen Faktoren Geschlecht ( $p = 0,046$ ), Vorliegen von Diabetes ( $p = 0,007$ ), Zahntyp ( $p = 0,014$ ), gestellte Diagnose ( $p = 0,004$ ) sowie der präendodontische periapikale Zustand (initialer PAI;  $p = 0,001$ ) als signifikant, wobei die Diagnosestellung und der zeitgleich erfasste PAI von erheblicher Relevanz waren.

Das Alter ( $p = 0,235$ ), der Raucherstatus ( $p = 0,065$ ), das Vorhandensein von Herzerkrankungen ( $p = 0,743$ ), die Fülltechnik ( $p = 0,494$ ) sowie die Gesamtqualität ( $p = 0,134$ ), die Wurzelfülllänge ( $p = 0,640$ ) und Dichtigkeit ( $p = 0,179$ ) galten als nicht signifikant.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der untersuchten Parameter hinsichtlich des PAI genau beschrieben ( $n = 565$ ).

#### Allgemeine und präendodontische Parameter

##### Alter

Über alle Altersgruppen hinweg lag der Anteil der Zähne mit einem PAI von 1 oder 2 bei über 80 % (siehe Abbildung 19). In der ältesten Patientengruppe mit einem Alter von 70-99 Jahren galten 89,8 % ( $n = 88$ ) der Zähne als geheilt. Das Patientenalter war kein signifikanter, mit dem PAI korrelierender Parameter ( $p = 0,235$ ).

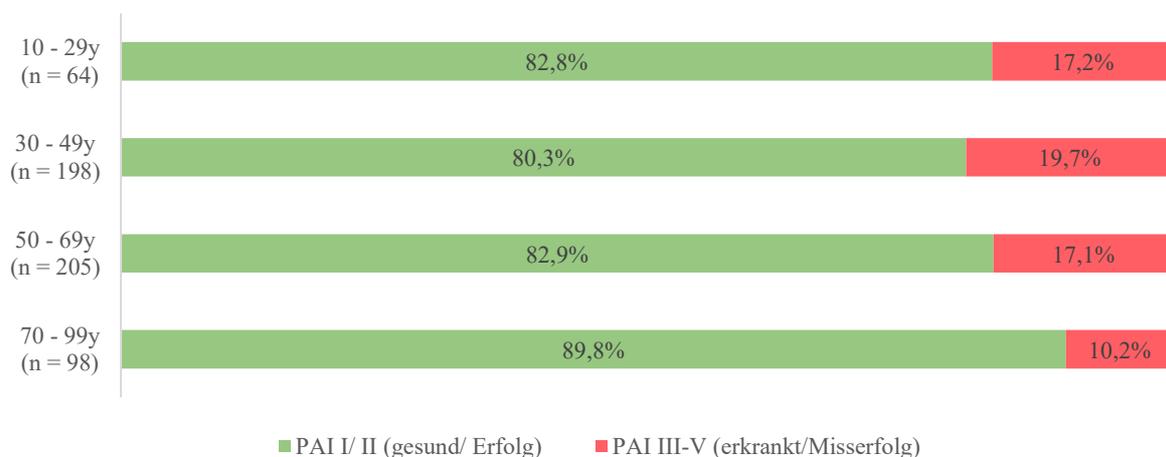


Abbildung 19: PAI in Abhängigkeit vom Patientenalter

## Geschlecht

Das Geschlecht war hinsichtlich des Behandlungserfolges ein gering signifikanter Faktor ( $p = 0,046$ ; siehe Abbildung 20). 87,2 % ( $n = 190$ ) der bei Patientinnen untersuchten Zähne hatten einen PAI von 1 oder 2, wohingegen der Wert bei Männern bei 80,7 % ( $n = 280$ ) lag.

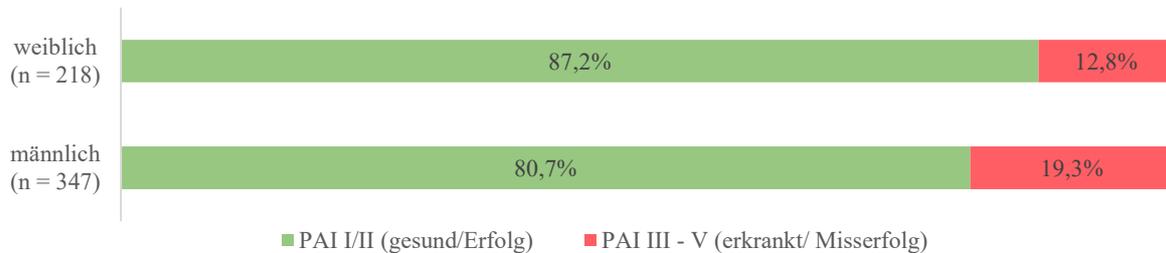


Abbildung 20: Verteilung des periapikalen Index in Abhängigkeit vom Geschlecht

## Anamnestische Angaben: Raucherstatus, Diabetes und Herzerkrankung

Aus Abbildung 21 geht hervor, dass anamnestisch erfasste Diabetiker in 100 % ( $n = 34$ ) der Fälle einen gesunden PAI aufwiesen. Bei gesunden Patienten/-innen waren 17,9 % ( $n = 95$ ) der Zähne mit einem erkrankten periapikalen Index assoziiert. Das Ergebnis war signifikant ( $p = 0,007$ ).

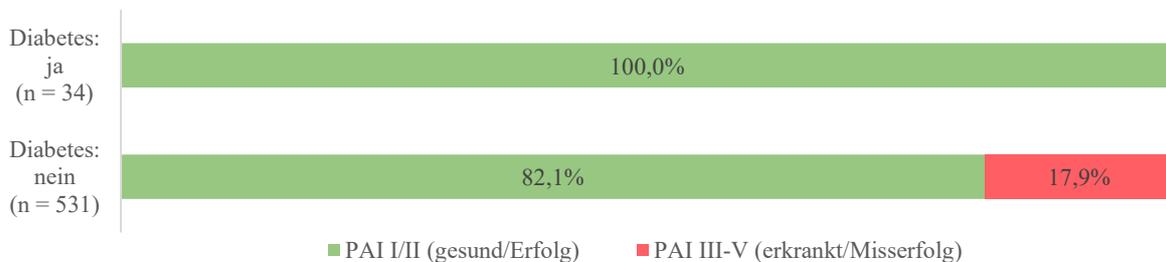


Abbildung 21: Korrelation zwischen PAI und Diabetes

Weder hinsichtlich des Raucherstatus ( $p = 0,065$ ) noch hinsichtlich des Vorliegens einer Herzerkrankung ( $p = 0,743$ ) konnte eine signifikante Relevanz bezüglich des periapikalen Status festgestellt werden. Endodontisch behandelte Zähne waren bei Rauchern in 77,3 % ( $n = 68$ ) der Fälle mit einem gesunden PAI assoziiert, bei unbekanntem Raucherstatus lag der Wert knapp darüber und bei Nichtrauchern bei 85,9 % ( $n = 311$ ). Im Falle einer anamnestisch bekannten Herzerkrankung wurde bei 15,8 % ( $n = 18$ ) ein PAI von 3, 4 oder 5 registriert, bei gesunden Patienten/Patientinnen lag der Wert um 1,3 % höher.

## Zahntyp

Der Zahntyp erwies sich hinsichtlich des periapikalen Index und somit hinsichtlich des Behandlungserfolges als signifikant ( $p = 0,014$ ). Abbildung 22 stellt den Zusammenhang zwischen dem Zahntyp und dem PAI grafisch dar. Mit 90,4 % ( $n = 170$ ) wurde bei behandelten Prämolaren am häufigsten ein PAI von 1 oder 2 diagnostiziert, gefolgt von Inzisiven mit einer um etwa 10 % geringeren Erfolgsrate. Eckzähne und Molaren waren ähnlich häufig mit einem PAI von 3 oder höher assoziiert, wobei die Fallzahl bei Molaren deutlich höher lag als die Fallzahl bei Eckzähnen. (Canini: 21,3 %,  $n = 10$ %; Molaren: 20,6 %,  $n = 54$ ).

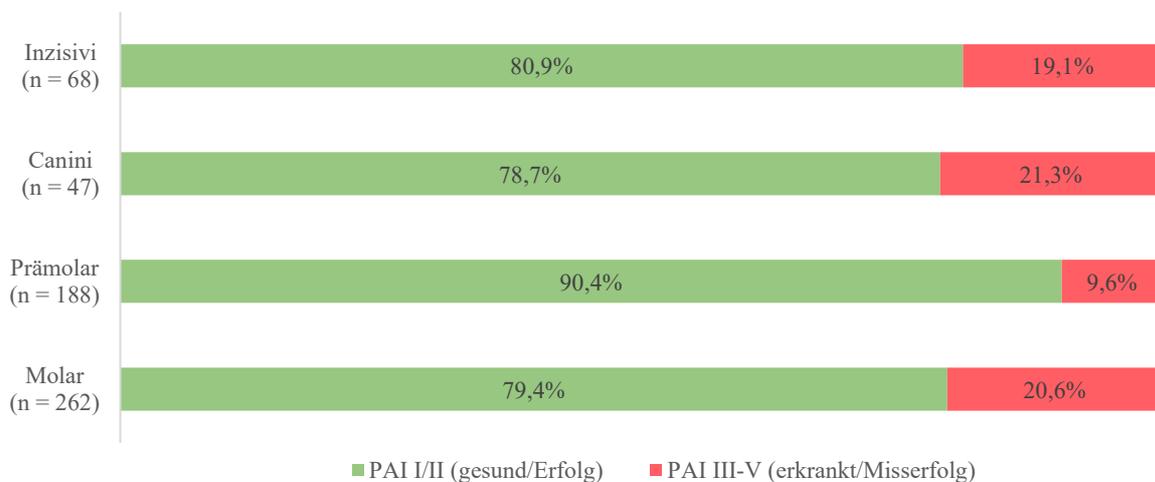


Abbildung 22: PAI in Abhängigkeit vom Zahntyp

## Diagnose

Bei Betrachtung des periapikalen Index in Abhängigkeit von der Diagnosestellung wurde ersichtlich, dass ein endodontischer Behandlungserfolg vermehrt vorlag, wenn die Entzündung sich auf das Wurzelkanalsystem beschränkte (siehe Abbildung 23). Ausgehend von 195 Zähnen mit einer symptomatischen irreversiblen Pulpitis hatten 87,7 % ( $n = 171$ ) einen PAI von 1 oder 2. Bei einem symptomfreien Krankheitsbild lag der Wert knapp darunter und im Falle einer Pulpanekrose bei 90,2 % ( $n = 92$ ).

Bei einem in Mitleidenschaft gezogenen periapikalen Gewebe wiesen bei der Nachuntersuchung prozentual gesehen weitaus weniger Zähne einen PAI von 1 oder 2 auf und zeigten demzufolge eine höhere Misserfolgsrate. Im Falle einer präendodontischen asymptomatischen apikalen Parodontitis war die Misserfolgsrate mit 26,9 % ( $n = 14$ ) am höchsten. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Signifikanz der Diagnosestellung hinsichtlich des postendodontischen periapikalen Zustandes ( $p = 0,004$ ).

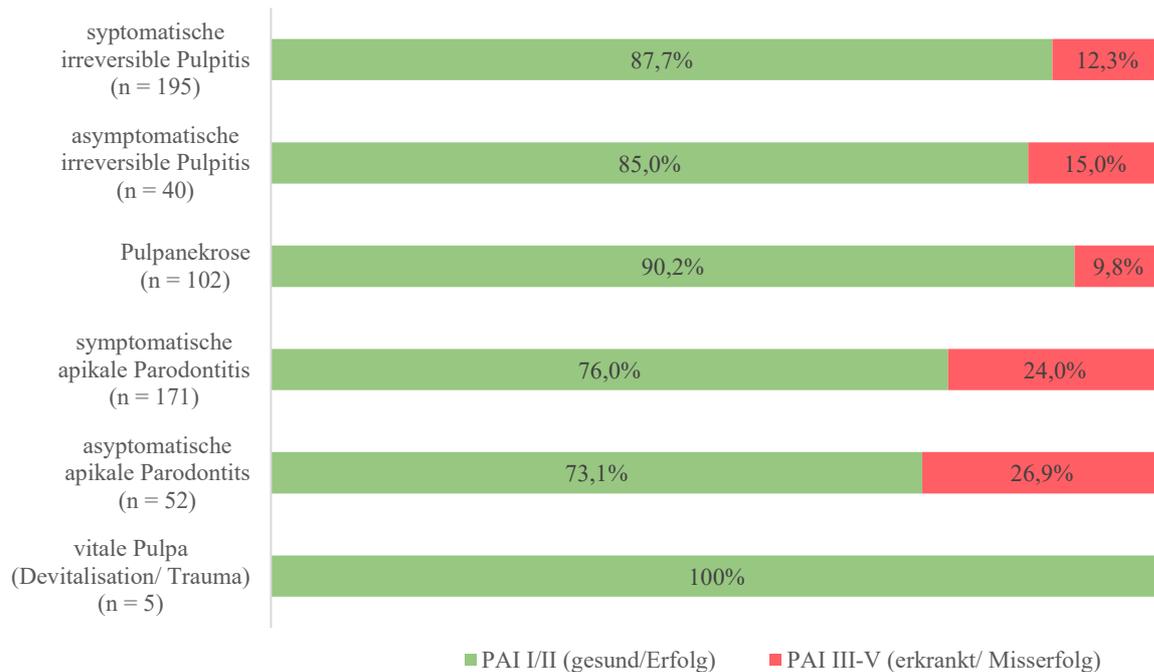


Abbildung 23: PAI in Abhängigkeit von der Diagnosestellung

### Präendodontischer periapikaler Zustand (initialer PAI)

Auch die Korrelation zwischen dem zum Zeitpunkt der Diagnosestellung bestimmten periapikalen Index und dem PAI der Nachuntersuchung – also mit dem endodontischen Behandlungserfolg – erwies sich als hoch signifikanter Parameter ( $p = 0,001$ ). Einen initial gesunden PAI zeigten 340 Zähne, von denen zum Recall-Zeitpunkt 88,2 % ( $n = 300$ ) erfolgreich therapiert wurden. Die restlichen 11,8 % ( $n = 40$ ) der Zähne waren erkrankt. Bei 75,6 % ( $n = 170$ ) der Zähne, die zum Zeitpunkt der Diagnosestellung einen erkrankten periapikalen Zustand aufwiesen, wurde ein Behandlungserfolg erzielt. Im Falle der verbleibenden 24,4 % ( $n = 55$ ) lag eine Persistenz beziehungsweise Aggravation des pathologischen Zustandes vor.

Bei Betrachtung der einzelnen ursprünglichen PAI Grade fiel auf, dass mit zunehmendem Schweregrad des erkrankten periapikalen Zustandes die Misserfolgsrate unter Berücksichtigung der jeweiligen Fallzahl zunahm (siehe Abbildung 24). So wurde bei 16,7 % ( $n = 8$ ) der Zähne, die initial einen PAI 3 hatten, erneut ein PAI von 3 oder höher registriert. Bei einem ursprünglichen periapikalen Index von 4 lag der Wert bei 25,2 % ( $n = 40$ ) und bei Grad 5 bei annähernd 40 %. Vergleichsweise dazu betrug die Misserfolgsrate bei einem initialen PAI von 1 13,9 % ( $n = 19$ ). Am niedrigsten war sie bei einem Ausgangs-PAI von 2.

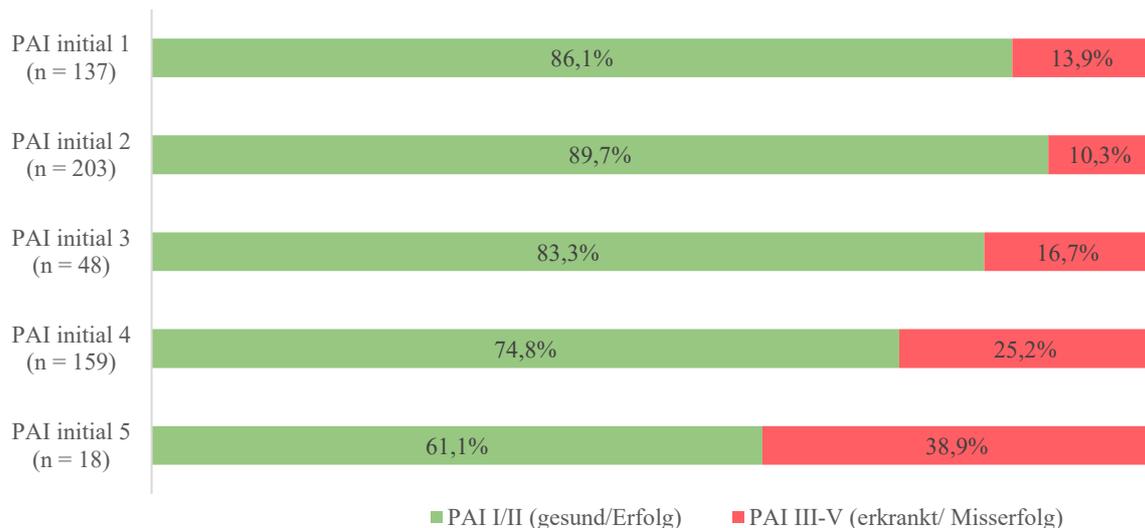


Abbildung 24: Korrelation zwischen dem initialen PAI und dem PAI der Nachuntersuchung

## Behandlungsinterne Parameter

### Gesamtqualität

Der PAI im Rahmen des Recalls und die Gesamtqualität wiesen keinen erfolgsrelevanten Zusammenhang auf ( $p = 0,134$ ). 84,9 % ( $n = 310$ ) der zufriedenstellend obturierten Zähne wurden als gesund beurteilt. Mit unzureichender Gesamtqualität waren es 80 % ( $n = 160$ ).

### Wurzelfülllänge

Abbildung 25 stellt die Korrelation zwischen der Wurzelfülllänge und dem PAI zum Zeitpunkt des Recalls schematisch dar. Am häufigsten wurde ein PAI von größer oder gleich 3 im Zusammenhang mit Wurzelfüllungen festgestellt, die mehr als 2 mm zu kurz, waren (21,7 %). Bei allen weiteren Wurzelfülllängen lag die Misserfolgsrate, in Abhängigkeit von der jeweiligen Fallzahl, bei unter 20 %. Ideale Wurzelfülllängen wiesen mit 85,3 % ( $n = 272$ ) am häufigsten einen PAI von 1 oder 2 auf. Die Erfolgsrate überfüllter Wurzelkanäle lag bei einem apikalen Puff bei 80,4 % ( $n = 86$ ) und bei massiv überfüllten Zähnen bei 83,3 % ( $n = 35$ ). In Anbetracht der Ergebnisse erwies sich die Wurzelfülllänge im Zusammenhang mit dem periapikalen Index als nicht signifikant ( $p = 0,640$ ).

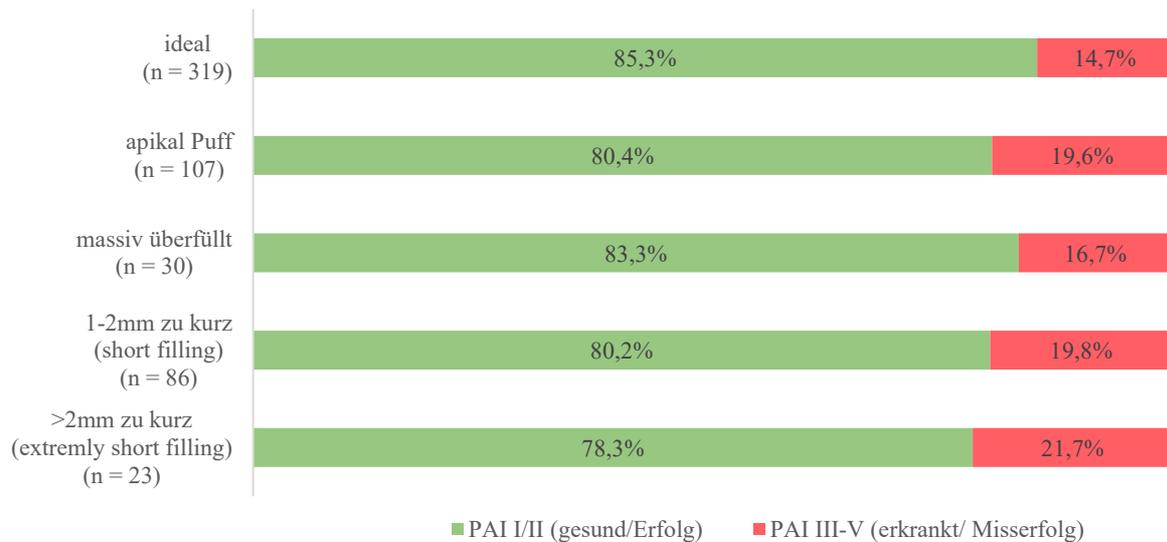


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen PAI und Wurzelfülllänge

Nach Zusammenführung der Ergebnisse der Feinskalierung in die Dreistufenskala -ideal, zu kurz, zu lang- wurde ersichtlich, dass mit 84,2 % (n = 341) Zähne mit idealer Wurzelfülllänge (Zusammenfassung ideal und 1-2 mm zu kurz abgefüllte Zähne) häufiger einen PAI von 1 oder 2 aufwiesen als Zähne mit zu kurzer beziehungsweise zu langer Obturation. Zähne mit zu langer Wurzelfüllung (Zusammenfassung von Zähnen mit apikalem Puff und massiv überfüllte Zähnen) hatten mit 81 % (n = 111) eine höhere Erfolgsrate als zu kurz abgefüllte Zähne (78,3 %, n = 18).

### Homogenität

Auch die Dichtigkeit äußerte sich im Zusammenhang mit dem PAI als nicht signifikant ( $p = 0,179$ ). 83,8 % (n = 435) der Zähne, die als dicht obturiert galten, hatten einen PAI von 1 oder 2. Im Falle inhomogen gefüllter Zähne lag der Wert bei 76,1 % (n = 35).

### Fülltechnik

Unter Verwendung aller drei untersuchten Obturationstechniken wurde jeweils über 80 % der Zähne ein gesunder Periapex diagnostiziert (siehe Abbildung 26). Am häufigsten wiesen warm-vertikal gefüllte Zähne einen PAI von 1 oder 2 auf, bei lateral kompaktierten Zähnen lag der Wert um circa 7 % niedriger (warm-vertikale Obturation: 87,8 %, n = 72; laterale

Kompaktion: 80,5 %, n = 165). 83,8 % (n = 233) der 278 Zähne, bei denen Thermafil verwendet wurde, wurden erfolgreich therapiert. Dem Pearson-Chi-Square-Test zufolge lag keine signifikante Korrelation vor ( $p = 0,494$ ).

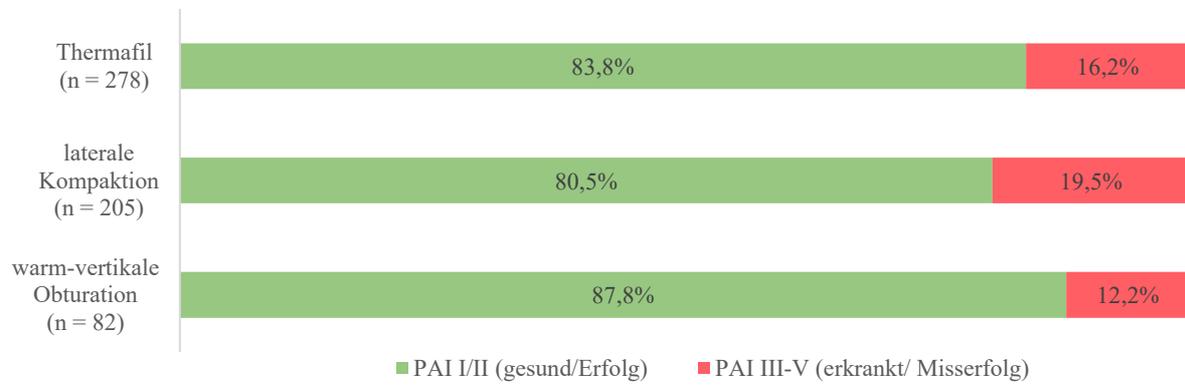


Abbildung 26: Korrelation zwischen dem PAI und der angewandten Fülltechnik

### 4.2.2.3 Verteilung des Recall-Abbruchs und der Extraktionsgründe

Bei einem durchschnittlichen Recall-Zeitraum von 33,2 Monate, betrug die Recall-Rate 65 %. Insgesamt wurden 76 (n = 11,8) der 644 Recalls abgebrochen (siehe Abbildung 27 links). Der häufigste Grund war die Extraktion des wurzelkanalbehandelten Zahnes. In 0,9 % (n = 6) beziehungsweise 0,2 % (n = 1) waren Interventionen im Sinne einer WSR beziehungsweise Revision indiziert. Anderweitige Abbruchgründe (nicht erreicht, keine Zeit, keine weitere Behandlung an der Klinik mehr gewünscht, unbekannt verzogen oder Patient/-in verstorben) wurden in 1,3 % (n = 6) der Fälle dokumentiert.

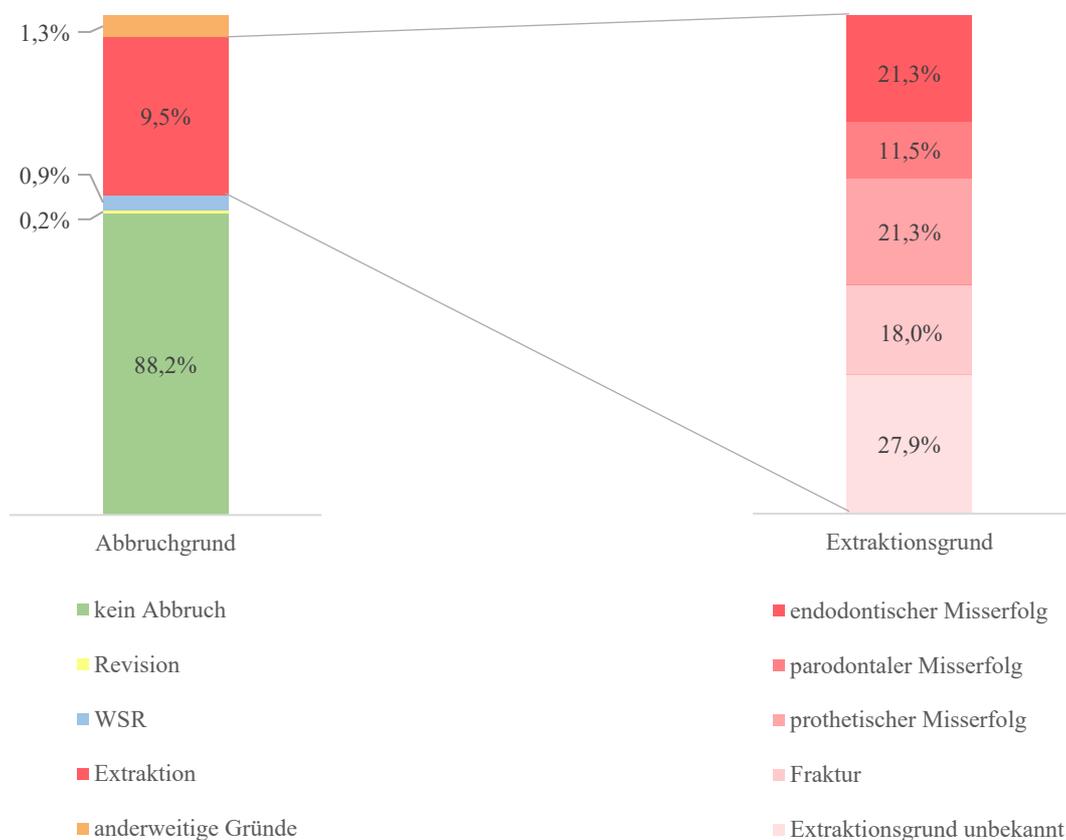


Abbildung 27: Verteilung des Recall-Abbruchs (links) und der Extraktionsgründe (rechts)

Bei Betrachtung der Extraktionsgründe wurde ersichtlich, dass 21,3 % (n = 13) aufgrund eines endodontischen Misserfolges entfernt wurden (siehe Abbildung 27 rechts). Dies waren 2 % der insgesamt für die Studie untersuchten Zähne. Genauso häufig war der prothetische Misserfolg ursächlich für die Extraktion. In den meisten Fällen konnte sich der Patient an den Grund der Zahnextraktion nicht erinnern, der Grund war somit unbekannt. 18 % (n = 11) der Zähne waren frakturiert, am seltensten führte der parodontale Misserfolg zur Extraktion.

### 4.2.3 Überlebenswahrscheinlichkeit

Die Überlebensrate aller derjenigen Zähne, die im Rahmen des Recalls nachuntersucht wurden, lag bei 89,3 %. Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit aller Zähne mit und ohne Recall, betrug nach 48 Monaten 79 %. Bis gegen Ende des Beobachtungszeitraums von fünf Jahren, sank sie, aufgrund der geringen Fallzahlen nach dem 48. Monat, auf 62 % ab (siehe Abbildung 28). Aufgrund der abnehmenden Fallzahl nach 48 Bei einer durchschnittlichen Überlebensdauer von 55 Monaten (Konfidenzintervall: 53-56 Monate; Standardabweichung: 0,72) lag sie bei 66,1 %. Das Überleben wurde über das Vorhandensein des Zahnes in Situ definiert.

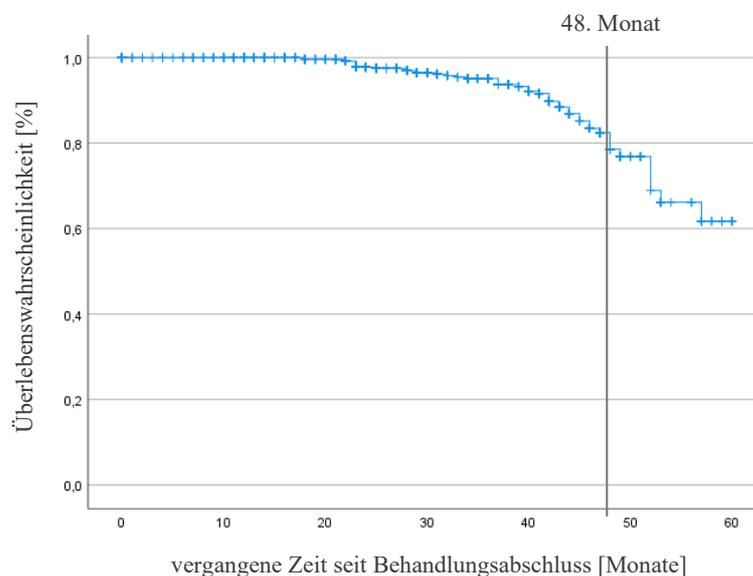


Abbildung 28: Kaplan-Meier-Überlebenswahrscheinlichkeit über den Beobachtungszeitraum von fünf Jahren

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Kaplan-Meier-Überlebensanalyse in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern inklusive der jeweils ermittelten Signifikanz.

Neben dem Alter ( $p = 0,001$ ), dem Vorliegen einer Diabeteserkrankung ( $p = 0,006$ ) oder einer Herzerkrankung ( $p = 0,012$ ) erwiesen sich die Länge ( $p = 0,049$ ) sowie die Homogenität der Wurzelkanalfüllung ( $p = 0,016$ ) als signifikante Parameter hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeit. Vor allem das Alter und das Vorliegen der genannten Krankheiten zeigten eine hohe Signifikanz, die Länge war knapp signifikant. Zwischen der Überlebensrate und dem Geschlecht ( $p = 0,431$ ), dem Raucherstatus ( $p = 0,478$ ), der Diagnosestellung ( $p = 0,150$ ), dem initialen PAI ( $p = 0,052$ ), dem Zahntyp ( $p = 0,773$ ) sowie der Gesamtqualität ( $p = 0,0531$ ) und der Fülltechnik ( $p = 0,186$ ) konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden, wobei der initiale periapikale Index sich als knapp nicht signifikant erwies.

**Übersicht der Überlebensanalyse in Abhängigkeit der untersuchten Faktoren**

<b>Parameter</b>		<b>Fälle Total n = 957</b>	<b>Durchschnittliche Überlebensdauer mit Konfidenz- Intervall [Mo.]</b>	<b>Überlebens- rate [%]</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>Log- Rank p</b>	
Geschlecht	weiblich	389	54 [52-57]	62,6	1,31	0,431	
	männlich	568	55 [53-57]	67,7	0,85		
Raucher	nein	575	54 [52-56]	66,7	0,96	0,478	
	ja	175	56 [54-59]	73,6	1,39		
	keine Angaben	207	53 [51-56]	59,1	1,48		
Diabetes	nein	898	55 [54-56]	67,3	0,73	<b>0,006</b>	
	ja	59	49 [44-54]	50,4	2,63		
Herz- erkrankung	nein	788	55 [54-57]	69,7	0,79	<b>0,012</b>	
	ja	169	52 [49-55]	64,8	1,59		
Zahntyp	OK	Inzisivi	78	51 [47-56]	62,7	2,34	0,773
		Canini	56	56 [51-60]	63,0	2,15	
		Prämolaren	185	56 [53-59]	75,3	1,43	
		Molaren	202	54 [51-56]	82,0	1,20	
	UK	Inzisivi	42	49 [45-53]	80,0	1,97	
		Canini	26	57 [57-57]	50,0	0,00	
		Prämolaren	140	49 [47-51]	63,5	1,19	
		Molaren	228	54 [51-57]	53,9	1,48	
Initialer PAI	1	220	57 [55-59]	81,9	0,93	0,052	
	2	364	55 [53-57]	71,8	1,14		
	3	77	52 [48-55]	33,2	1,75		
	4	258	51 [48-53]	61,0	1,25		
	5	38	45 [41-49]	85,7	2,01		
Gesamt- qualität	adäquat	616	55 [53-56]	67,0	0,86	0,531	
	inadäquat	341	54 [52-57]	64,3	1,27		
Länge	ideal	544	55 [53-57]	64,4	0,90	<b>0,049</b>	
	1-2 mm zu kurz	150	51 [47-56]	52,6	2,30		
	> 2 mm zu kurz	35	50 [47-54]	90,9	2,46		
	apikal Puff	173	57 [54-59]	80,8	1,23		
	massiv überfüllt	55	45 [42-48]	69,0	1,48		

## Übersicht der Überlebensanalyse in Abhängigkeit der untersuchten Faktoren

Parameter		Fälle Total n = 957	Durchschnittliche Überlebensdauer mit Konfidenz- Intervall [Mo.]	Überlebens- rate [%]	Standard- abweichung	Log- Rank p
Homogenität	homogen	862	55 [54-56]	69,6	0,72	<b>0,016</b>
	inhomogen	95	48 [44-52]	65,1	2,05	
Fülltechnik	Laterale Kompaktion	384	53 [51-56]	61,3	1,18	0,186
	Thermafil	435	54 [52-57]	61,6	1,09	
	Warm-vertikale Obturation	138	58 [56-60]	93,7	1,17	

Tabelle 4: Übersicht der Kaplan-Maier-Überlebensanalyse in Abhängigkeit der untersuchten Parameter inklusive der Ergebnisse des Log-Rank-Tests

Im Folgenden wird genauer auf die Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von präendodontischen sowie behandlungsinternen Parametern eingegangen:

### Allgemeine und präendodontische Faktoren

#### Alter

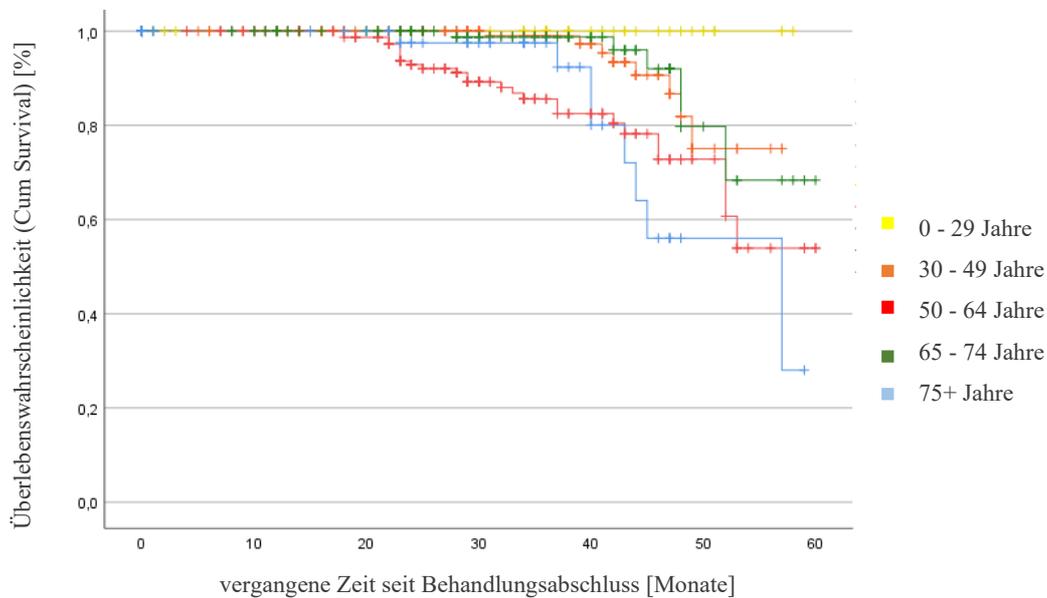


Abbildung 29: Überlebensrate in Abhängigkeit vom Patientenalter

Die Kategorisierung des Alters erfolgte in fünf Gruppen (siehe Abbildung 29), wobei die jüngste Patientengruppe die höchste und die älteste Gruppe die niedrigste Überlebensrate

aufwies. Sie lag bei 100 % versus knapp 30 % nach fünf Jahren. In den übrigen drei Kategorien fiel die Überlebenswahrscheinlichkeit bis gegen Ende des vierten Jahres auf zwischen 73 % bis 80 %. In der verbleibenden Observationsperiode entwickelte sie sich nicht alterschronologisch. Bei den 30–49-Jährigen blieb sie konstant, in der Altersgruppe 65-74 Jahre fiel sie um circa 10 % und in der nächstjüngeren Gruppe um knapp 20 %. In Abhängigkeit vom Patientenalter erwies sich die Überlebenswahrscheinlichkeit als höchst signifikant ( $p = 0,001$ ).

### Geschlecht

Das Geschlecht erwies sich im Zusammenhang mit der Überlebensrate nicht als signifikant ( $p = 0,431$ ). In etwa 4 Jahren wurde bei Männern und Frauen ein exponentieller Abfall der Überlebenswahrscheinlichkeit auf 80 % festgestellt. Gegen Ende der Observationsperiode lag sie sowohl bei weiblichen als auch bei männlichen Patienten/-innen bei in etwa 62 %.

### Anamnestic Angaben: Raucherstatus, Diabetes und Herzerkrankungen

In Abhängigkeit von den jeweiligen Fallzahlen zeigten wurzelkanalbehandelte Zähne von Rauchern eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als die von Nichtrauchern und Behandelten, die diesbezüglich keine Angaben machten, wobei die Differenz nicht signifikant war ( $p = 0,478$ ). Während bei Patienten/Patientinnen, die nicht rauchten oder keine Stellung bezogen, ein exponentieller Abfall der Überlebensrate bis gegen Ende des Beobachtungszeitraums auf 58 % vorlag, konnte bei Rauchern eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 75 % festgestellt werden.

Im Gegensatz dazu war die Überlebenswahrscheinlichkeit der endodontisch behandelten Zähne bei Diabetikern und bei herzerkrankten Patienten/Patientinnen signifikant niedriger als bei Gesunden (Diabetes:  $p = 0,006$ ; Herzerkrankung:  $p = 0,012$ ). Bei Patienten/Patientinnen mit Diabetes fiel die Überlebensrate innerhalb von 45 Monaten exponentiell auf 50 % ab, anschließend blieb sie unverändert. Bei gesunden Behandelten lag sie im 45. Monat bei annähernd 90 % und nach fünf Jahren bei über 60 %. Sowohl bei gesunden als auch bei herzerkrankten Patienten/Patientinnen konnte bis zum 22. Monat eine annähernd 100%ige Überlebensrate festgestellt werden. Nach 45 Monaten sank sie im Falle einer anamnestic bekannten kardialen Erkrankung auf 65 % ab, während sie in Abwesenheit dieser bei annähernd 90 % lag. Nach fünf Jahren betrug sie bei erkrankten Behandelten 55 % und bei gesunden Behandelten bei 65 %.

## Zahntyp

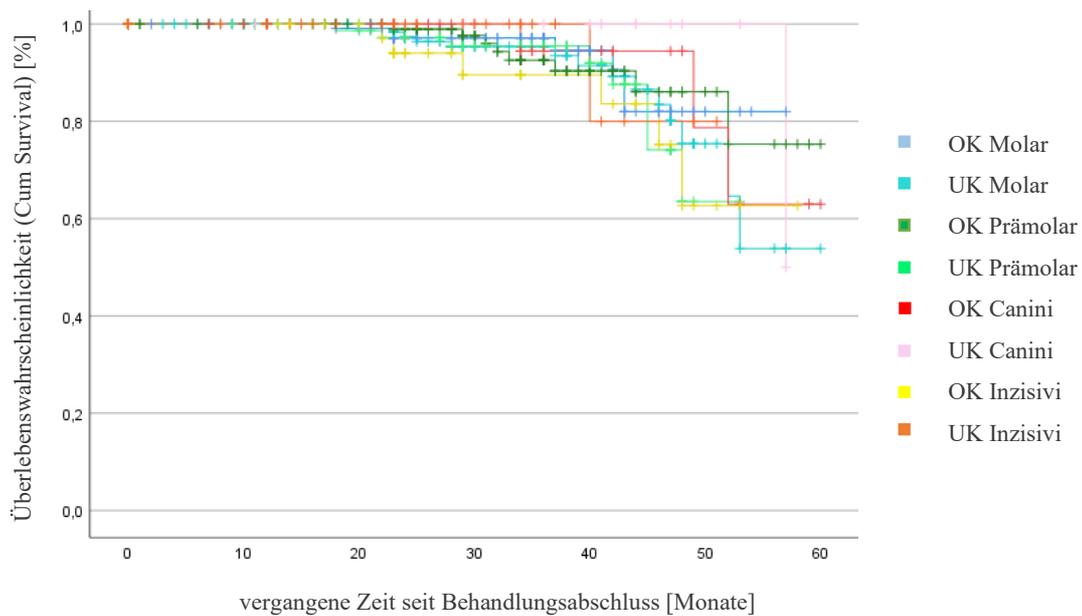


Abbildung 30: Überlebensrate der endodontisch behandelten Zähne in Abhängigkeit vom Zahntyp (UK = Unterkiefer; OK = Oberkiefer)

Abbildung 30 stellt die Überlebensrate in Abhängigkeit vom Zahntyp dar, die sich als nicht signifikant erwies ( $p = 0,773$ ).

Im Durchschnitt zeigten – bis auf die Eckzähne – alle Zahntypen in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Fallzahl bis zum 45. Monat nach Behandlungsabschluss einen exponentiellen Abfall auf 80 % bis 90 %. Oberkiefermolaren wiesen von diesem Zeitpunkt an die höchste Überlebensrate von 82 % auf. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Unterkiefermolaren dagegen sank exponentiell weiter auf 53 % ab und gehörte mit zu den am niedrigsten registrierten Überlebensraten. Im Falle wurzelkanalbehandelter Prämolaren, lag sie bei Oberkieferzähnen gegen Ende der Observationsperiode bei 75 %, während sie bei Unterkieferzähnen etwa 12 % niedriger war. Die geschätzte Überlebensrate der Unterkieferschneidezähne blieb ab dem 40. Monat konstant bei 80 %, diejenige der Oberkieferschneidezähne sank bis zum Ende des Beobachtungszeitraums auf 63 % ab. Bei den Canini war die Überlebensrate nach 45 Monaten im Oberkiefer bei über 90 % und fiel im Verlauf auf circa 63 % ab. Im Unterkiefer dagegen lag sie nahezu die gesamte Zeit bei 100 % und fiel schlagartig auf 50 % ab, was auf die niedrige Fallzahl zurückzuführen war.

## Diagnose

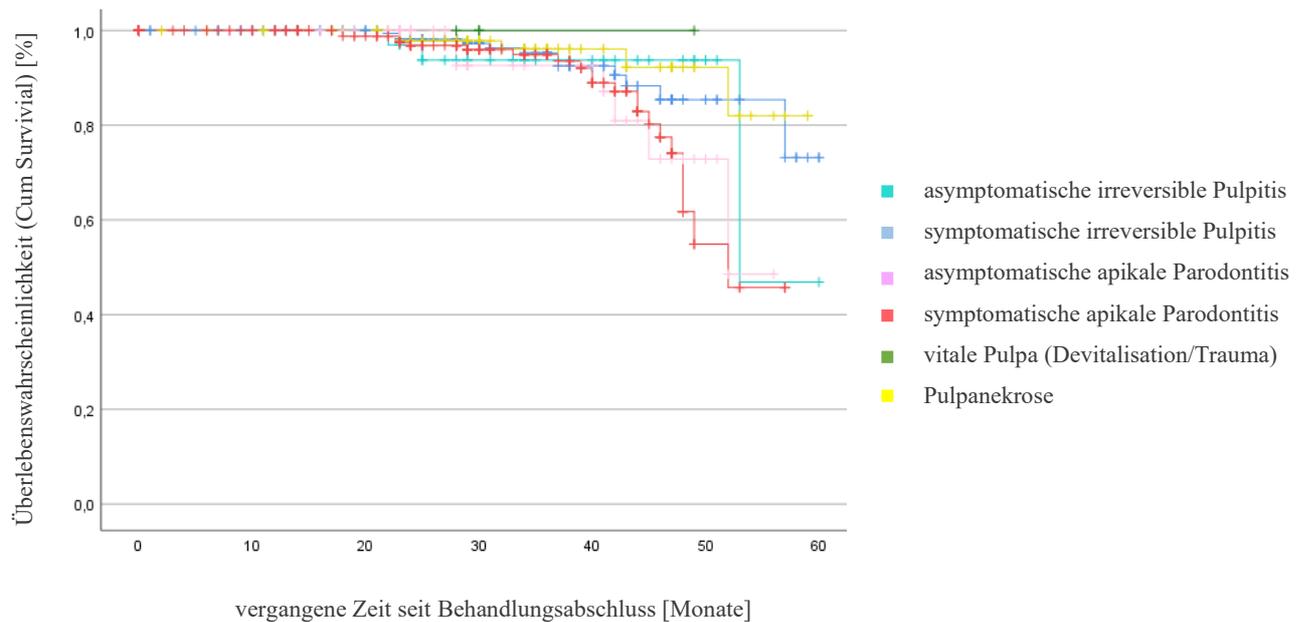


Abbildung 31: Überlebensrate in Abhängigkeit von der gestellten Diagnose

Die Überlebensrate in Abhängigkeit von der gestellten Diagnose zeigte keine Signifikanz ( $p = 0,150$ ). Die Verteilung wird in Abbildung 31 schematisch dargestellt. Bis etwa zu Beginn des vierten Jahres nach Behandlungsbeginn lag die Überlebenswahrscheinlichkeit bei allen gestellten Diagnosen, in Anbetracht der jeweiligen Fallzahl, zwischen 92 % und 100 %.

Die symptomatische irreversible Pulpitis wies nach fünf Jahren mit circa 73 % eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als das asymptotische Krankheitsbild mit etwa 47 % auf. Im Falle einer symptomatischen beziehungsweise symptomlosen apikalen Parodontitis fiel die geschätzte Überlebensrate gegen Ende der Observationsperiode auf etwa 46 % beziehungsweise annähernd 50% ab. Zähne, die infolge von Traumata oder anderweitiger Devitalisation behandelt wurden, hatten eine 100%ige Überlebenschance. Im Falle von Nekrosen fiel sie innerhalb der darauffolgenden 24 Monate auf 82 % ab.

## Präendodontischer periapikaler Zustand (initialer PAI)

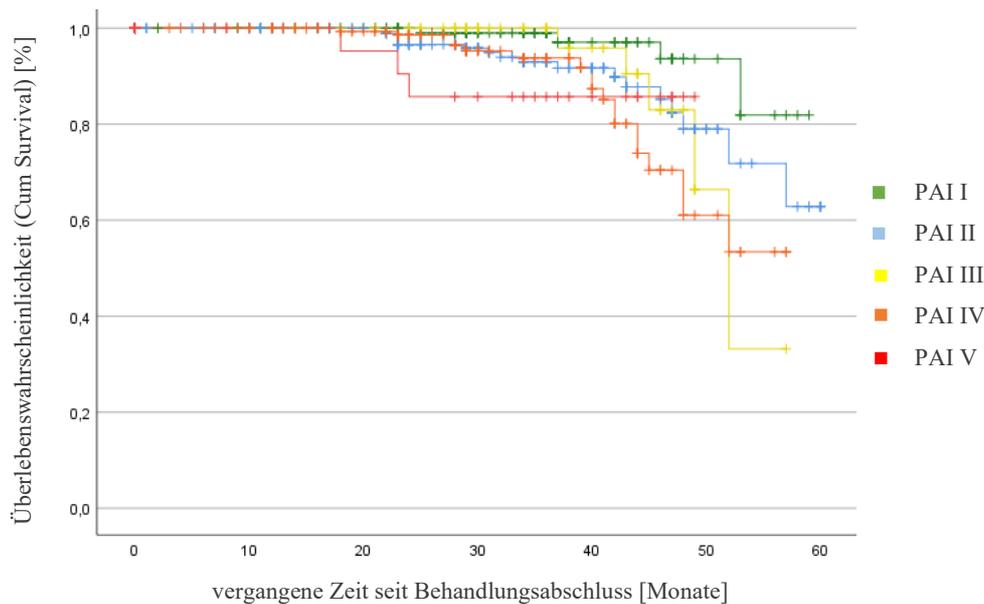


Abbildung 32: Überlebenswahrscheinlichkeit der wurzelkanalbehandelten Zähne in Abhängigkeit vom PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung

Zähne mit einem initialen PAI Grad 1 wiesen zur Halbzeit der Observationsperiode eine Überlebensrate von circa 98 % auf. Bis zum Ende fiel sie auf knapp über 80 %. Im Falle eines Grad 2 sank sie ab der Halbzeit exponentiell auf etwa 63 % ab.

Zähne mit einem initialen PAI von 3 wiesen nach fünf Jahren die niedrigste Überlebenswahrscheinlichkeit auf. Gegen Mitte des Beobachtungszeitraums hatten Zähne mit Grad 4 eine 95%ige Überlebenschance. Diese sank bis gegen Ende auf 53 %. In Anbetracht der niedrigen Fallzahl, gingen Zähne mit einem periapikalen Index von 5 ab dem 24. Monat mit einer 85 %igen Überlebenschance einher. Bei dichotomisierter Betrachtung der PAI Grade stellte sich heraus, dass Zähne, die initial röntgenologisch als gesund galten – also einen PAI von 1 oder 2 aufwiesen – durchschnittlich mit einer höheren geschätzten Überlebensrate assoziiert waren als die Fälle, die präendodontisch einen periapikalen Index von größer oder gleich 3 hatten (77 % versus 60 %). Die Ergebnisse zeigten, dass der periapikale Zustand für die Überlebenswahrscheinlichkeit knapp nicht von Relevanz war ( $p = 0,052$ ) (siehe Abbildung 32).

## Behandlungsinterne Parameter

### Gesamtqualität

Die Gesamtqualität der Wurzelkanalfüllung war hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeit nicht von signifikanter Bedeutung ( $p = 0,531$ ). Über einen Zeitraum von 22 Monaten war sowohl bei zufriedenstellender als auch bei unzureichender Gesamtqualität eine circa 100%ige Überlebensrate zu festzustellen. Diese sank in beiden Fällen nach drei Jahren auf 95 %. Nach fünf Jahren lag die Überlebenswahrscheinlichkeit zufriedenstellender Wurzelkanalfüllungen bei knapp über 60 %, während sie bei unzulänglicher Füllungsqualität minimal darüber lag.

### Wurzelfülllänge

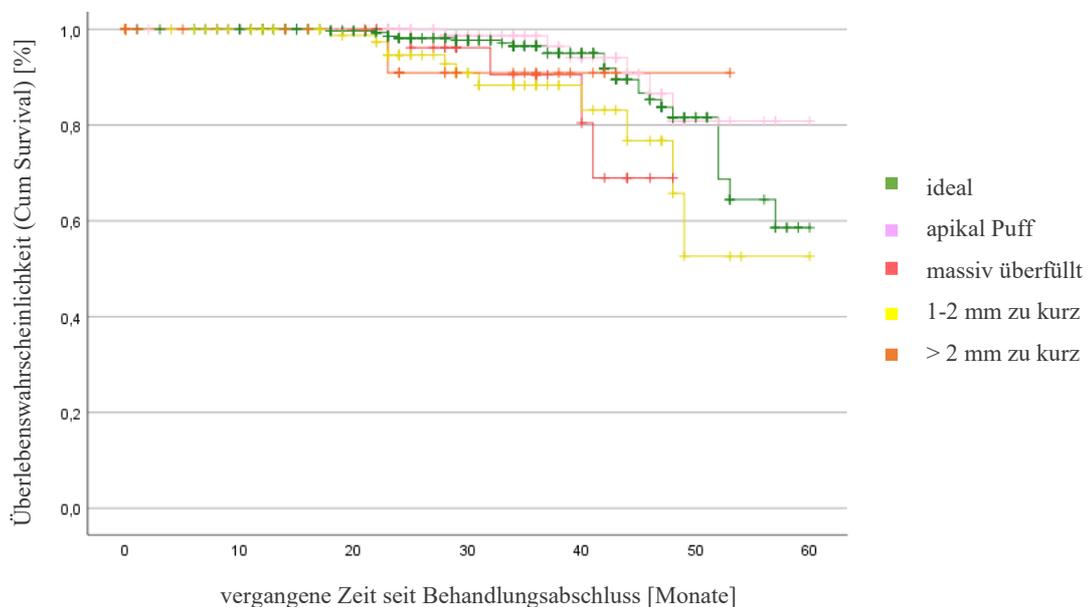


Abbildung 33: Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Wurzelfülllänge

Die höchste Überlebensrate wurde bei Zähnen festgestellt, deren Wurzelkanalfüllung über 2 mm zu kurz war: Sie lag ab dem 23. Monat konstant bei circa 90 %. Dagegen wiesen alle Zähne, deren Füllung als 1-2 mm zu kurz galt, die niedrigste Überlebensrate auf. Zur Halbzeit der Observationsperiode lag die Überlebenswahrscheinlichkeit der anderen drei Kategorien bei über 95 %. Zähne, deren Wurzelfülllänge ideal war, zeigten gegen Ende des Beobachtungszeitraum eine 58%ige Überlebenswahrscheinlichkeit auf, beim Vorliegen eines

apikalen Puffs lag sie bei 81 % und bei massiv überfüllten Zähnen bei annähernd 70 %. Die Wurzelfülllänge war für die Überlebensrate knapp signifikant ( $p = 0,049$ ; siehe Abbildung 33). Bei alleiniger Differenzierung zwischen adäquater (ideale und 1-2 mm zu kurze Wurzelfüllungen) und inadäquater Wurzelfülllänge (apikaler Puff, massiv überfüllte und über 2 mm zu kurz obturierte Zähne) war das Ergebnis nicht signifikant ( $p = 0,646$ ). Annehmbar gefüllte Zähne hatten nach Ende der fünf Jahre eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 58 %, Zähne mit einer inakzeptablen Wurzelfülllänge eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 78 %.

### Homogenität

Die Überlebenswahrscheinlichkeit undichter und inhomogener Wurzelkanalfüllungen war signifikant geringer als diejenige der dichten und homogenen Füllungen ( $p = 0,016$ ). Im Falle beider Kategorien lag die Überlebenswahrscheinlichkeit zunächst bei annähernd 100 %. Während die Überlebensrate dicht gefüllter Zähne bis zum Beginn des fünften Jahres exponentiell auf 80 % abfiel und gegen Ende des Jahres bei etwa 65 % lag, reduzierte sich die Überlebensrate undicht obturierter Zähne bereits ein halbes Jahr früher auf 80 %. Sie sank weiter auf 65 %, anschließend folgte ein enormer Abfall der Überlebenschance.

### Fülltechnik

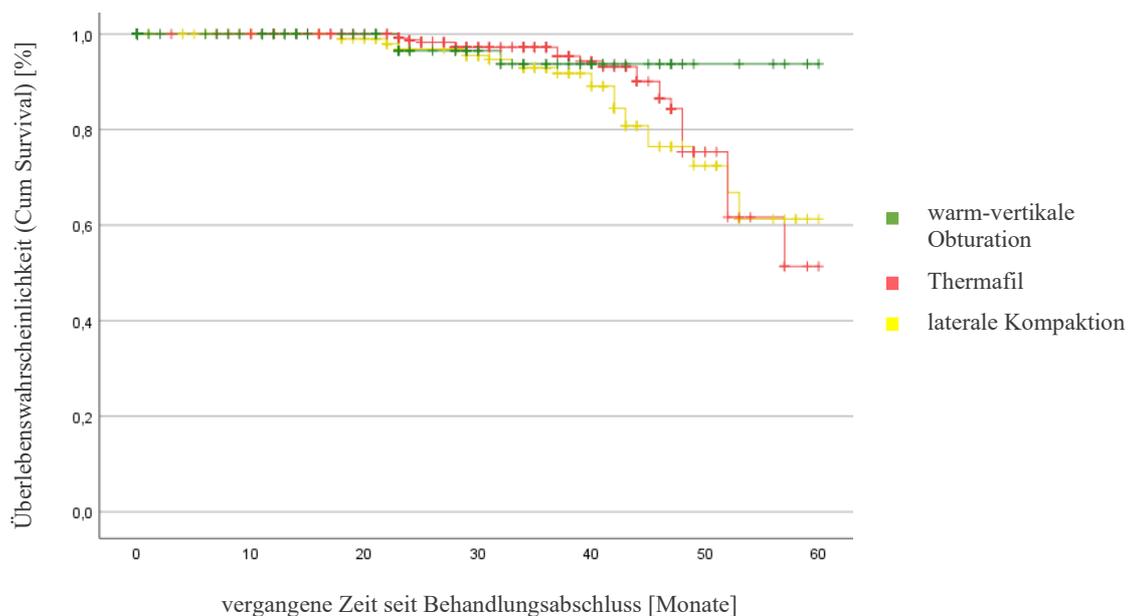


Abbildung 34: Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Fülltechnik

Bei der Überlebensrate wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der angewandten Fülltechnik registriert ( $p = 0,186$ ). Alle drei Verfahren zeigten bis zum 22. Monat eine Reduktion der Überlebenswahrscheinlichkeit von 100 % um 3 %. Die Überlebensrate warmvertikal obturierter Zähne fiel im Verlauf der darauffolgenden 10 Monate auf 95 % und blieb von da an unverändert. Im Falle lateral kompakterer Zähne lag sie nach fünf Jahren bei 62 % und bei den Zähnen mit Thermafil bei 50 % (siehe Abbildung 34).

## **5. Diskussion**

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, im Sinne einer prospektiven Kohortenstudie die Erfolgsrate studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen und die damit korrelierenden Parameter anhand des Patientenkollektivs der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität München im Zeitraum vom Sommersemester 2013 bis einschließlich zum Sommersemester 2017 sowie deren Überlebensrate zu ermitteln.

### **5.1 Diskussion zu Material und Methode**

#### **5.1.1 Patientenkollektiv**

Zur Beurteilung der studentischen Leistung wurden in das Untersuchungskollektiv explizit nur Patienten/Patientinnen integriert, deren endodontische Behandlung von Studenten und Studentinnen unter Aufsicht eines/einer Assistenzzahnarztes/-ärztin im Studentenkurs im genannten Zeitraum absolviert wurde. Nach Kontaktaufnahme mit den Patienten und Patientinnen und unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien wurden ausgehend von 991 initialen Wurzelkanalbehandlungen 644 Fälle mit Recall-Untersuchung für die Studie verwendet. Für die Analyse der Überlebenswahrscheinlichkeit wurden zusätzlich alle Behandlungen ohne Nachuntersuchung integriert, lediglich mehrfach untersuchte Zähne wurden ausgeschlossen.

Der klinische Alltag zeigt, dass Patienten/Patientinnen unterschiedlicher sozialer, demografischer und ethnischer Herkunft aus diversen Gründen die Dienste der Poliklinik in Anspruch nehmen. Dazu gehören akute Schmerzen, komplizierte Behandlungen, der Wunsch nach einer Zweitmeinung und – im Vergleich zu niedergelassenen Praxen – reduzierte Behandlungskosten. Aufgrund dieser Mischpopulation ist von einer repräsentativen Stichprobe auszugehen. Die Altersverteilung der Studie reichte von 16 bis 88 Jahren und der Altersdurchschnitt betrug 52,4 Jahre. Die Mehrheit der Patienten und Patientinnen lag im Altersbereich zwischen 40 und 69 Jahren. Borén et. al. beispielsweise verzeichneten einen vergleichbaren Altersdurchschnitt [171]. Im Gegensatz dazu war er in weiteren Studien um mindestens zehn Jahre niedriger [128, 137, 185].

Der männliche Anteil des Patientenkollektivs lag mit 61,2 % (n = 394) deutlich höher als der weibliche mit 38,8 % (n = 250). Imura et. al., Ricucci et. al. sowie Borén et. al. beschrieben eine ähnliche Geschlechterverteilung, wohingegen in anderen internationalen Studien ausgeglichene Verhältnisse aufgeführt wurden [88, 99, 126, 128, 162, 169, 171, 174].

### 5.1.2 Recall-Rate

Die Recall-Rate ist definiert als der Anteil der Patienten und Patientinnen, die nach Abschluss der Behandlung nach einem bestimmten Zeitintervall, der sogenannten Follow-up-Periode, zur Nachsorge kamen [144]. In der hier vorliegenden Studie betrug sie unter Berücksichtigung der Einschlusskriterien 65 %. Aus einer Übersicht von Ng et. al. ging vergleichsweise eine durchschnittliche Recall-Rate von 52,7 % hervor [135, 144].

Es ist von einer Korrelation zwischen der Recall-Rate und der Erfolgsrate auszugehen. Friedman konstatierte, dass eine zahlenmäßig nicht ausreichende Vorstellung zur Nachsorge derjenigen Patienten und Patientinnen, die initial eine Behandlung erhalten hatten und in das Studienmaterial integriert wurden, die Studienergebnisse weniger aussagekräftig mache [144, 156]. So sollten Ergebnisse von Studien, bei denen eine hohe Ausfallrate von Nachuntersuchungen und somit eine niedrige Recall-Rate verzeichnet wurde, als Überschätzungen betrachtet werden [144]. Bei 155 untersuchten Zähnen mit präendodontischer apikaler Parodontitis über ein Zeitintervall von vier Jahren stellte Ørstavik bei zunehmender Erfolgsrate eine sinkende Recall-Rate fest. Einerseits ist die hohe Erfolgsrate von 82 % nach vier Jahren als Nachweis für den Heilungsprozess apikaler Parodontitiden anzusehen, jedoch wiesen 88 % dieser Zähne bereits nach einem Jahr eine günstige röntgenologische Tendenz auf. Daher ist andererseits nicht auszuschließen, dass ein Großteil der Patienten und Patientinnen mit einem ungünstigen Behandlungsergebnis nicht zur Nachuntersuchung erschien [144, 151]. Im Sinne der sich verstärkenden Reduzierung der Recall-Teilnehmer bei einer zunehmenden Studienlänge beschrieb Selden ein proportionales Verhältnis zwischen Studienlänge und Recall-Rate [186]. Zur Verbesserung der Recall-Rate bedienten sich Friedman et. al., Farzaneh et. al und Marquis et. al. im Rahmen der Toronto-Studie unterschiedlicher Maßnahmen. Sie kontaktierten die zu untersuchenden Patienten und Patientinnen sowohl telefonisch als auch postalisch. Zudem wurde eine finanzielle Entschädigung für die verlorene Arbeitszeit angeboten. Letztlich wurden von 1379 behandelten Zähnen lediglich 27 % in die Analyse einbezogen [7-9, 144]. Die mangelnde Patientencompliance im Rahmen klinischer Studien ist eine bekannte Problematik [154]. Die Aufforderung zur Teilnahme an der Nachuntersuchung ist mühsam, aber notwendig, um zu einem aussagekräftigen Studienergebnis zu gelangen. Zur Steigerung der Recall-Rate wurde sie von Ørstavik et. al. in ein Jahresetappen registrierten: Der Anteil an Patienten, die nicht zur Nachsorge erschienen, stieg von 33 % nach einem Jahr auf 62 % nach vier Jahren an. Über den gesamten Zeitraum wurde eine Recall-Rate von 82 % verzeichnet, wobei die Behandelten entweder nach einem, zwei, drei oder vier Jahren vorstellig

wurden. Das Jahr, in dem das Behandlungsergebnis registriert wurde, wurde im Falle mehrfacher Nachuntersuchungen jedoch nicht dokumentiert [144, 187].

In der hier vorliegenden Studie wurde keine konkrete Follow-up-Periode festgelegt. In Anbetracht der Tatsache, dass die Studie in einer Großstadt durchgeführt wurde, ist eine hohe Fluktuation durch Zu- und Wegzug zu bedenken, die möglicherweise mit der Recall-Rate in Verbindung steht.

Ein allgemein gültiger zeitlicher Rahmen für den Heilungsprozess ist nicht bekannt [41]. Bei einer vorangegangenen apikalen Parodontitis sind Heilungsanzeichen innerhalb eines Jahres möglich [151, 188]. Eine vollständige Heilung kann jedoch mehrere Jahre beanspruchen [41, 188, 189]. Aus einer Studie von Molven et. al. geht deutlich hervor, dass die Verlängerung der Follow-up-Periode mit der Zunahme endodontisch behandelter Zähne mit periapikal physiologischen Strukturen einhergeht - nach 10-17 Jahren waren es 77,4 % wohingegen es nach einer Verlängerung um weitere zehn Jahre 88,7% waren [177]. Um die Nachuntersuchung in das Studienmaterial integrieren zu können, musste der Abschluss der Behandlung mindestens ein Jahr zurückliegen. Einerseits ist dieses Intervall im Zusammenhang mit einzelnen Fällen als zu kurz zu erachten, da es zur vollständigen Heilung einer periapikalen Läsion gegeben falls mehr Zeit bedarf [151, 188-190]. Andererseits kann es als realistischer Zeitpunkt angesehen werden, um eine Heilungstendenz beziehungsweise den Heilungsverlauf einer Läsion zu beobachten [41, 151, 188, 190]. Auch hier wurde nicht differenziert, zu welchem Zeitpunkt die Nachkontrolle stattgefunden hat, so dass das Recall-Intervall inhomogen war. Lediglich das Mindestzeitintervall nach Therapieabschluss wurde berücksichtigt. Bei mehrfachen Nachuntersuchungen wurde stets nur die erste in das Studienmaterial aufgenommen. Ob ein festgelegter Recall-Zeitpunkt für ein aussagekräftigeres Ergebnis sinnvoll wäre, bleibt fraglich. Analog den Bemühungen im Rahmen der Toronto-Studie erfolgte die Kontaktaufnahme mit den Patienten und Patientinnen sowohl telefonisch als auch postalisch. Eine potentielle Steigerung der Recall-Rate durch finanzielle Kompensation ist denkbar, jedoch, wie die Toronto-Studie zeigte, nicht zwingend gegeben [7-9]. Angelehnt an Ørstaviks et. al. Feststellungen ist davon auszugehen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass Patienten und Patientinnen zur Nachuntersuchung vorstellig werden, sinkt, je mehr Zeit nach Abschluss der Behandlung verstrichen ist [187].

### 5.1.3 Datenbankparameter

Zur Reduktion radiologischer Fehlbeurteilungen von Wurzelkanalbehandlungen und zur Verringerung der Diskrepanz zwischen mehreren Begutachtern ist die Festlegung strenger Kriterien sowie deren Definition empfehlenswert [191].

#### Länge

Die apikale Konstriktion, die in etwa 1 mm oberhalb des radiologischen Apex liegt, gilt als der ideale Endpunkt der Wurzelkanalfüllung [22, 49]. Basierend auf Kuttlers Untersuchungen beschrieb Weine die ideale Länge als 1 mm vom radiologischen Apex entfernt [23, 49, 116]. Ingle stützte diese Hypothese und verwies darauf, dass eine direkt am radiologischen Apex endende Obturation in einer Extrusion des Wurzelfüllmaterials resultiert [115]. In der Literatur variieren die Angaben hinsichtlich des idealen Obturationsendpunktes zwischen 0,5-2 mm vom radiologischen Apex [90].

Für die Längenbeurteilung wurden häufig drei Bewertungsmöglichkeiten (Dreistufenskala) betrachtet: 0-2 mm vom röntgenologischen Apex (ideale Fülllänge), über 2 mm Distanz zum radiologischen Apex (zu kurz) und Obturationen, bei denen das Wurzelfüllmaterial über den Apex hinaus extrudiert wurde (zu lang) [87, 98, 99, 113, 117-121, 184, 192, 193]. Im Zuge dieser Studie standen für die Beurteilung der Länge fünf Bewertungsmöglichkeiten zur Auswahl: ideal, apikal puff, massiv überfüllt, 1-2 mm zu kurz (short filling) und über 2 mm zu kurz (extremely short filling). Zusätzlich wurden die fünf Bewertungsmöglichkeiten in die beschriebene Dreistufenskala eingetragen. Dabei entsprachen die Kategorien „ideal“ und „short filling“ der idealen Wurzelfülllänge, „extremely short filling“ galt als zu kurz und „apikal puff“ sowie „massiv überfüllt“ wurden als zu lang zusammengetragen. Auch die in die Meta-Analyse von Ribeiro et. al. inkludierten Studien, die sich mit der Qualität studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen auseinandersetzen, bedienten sich dieser Längenbeurteilung, so dass sie in puncto „Länge“ mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Studie verglichen werden können [113]. Jokinen et. al. definierten die ideale Länge jedoch davon abweichend. So bezeichneten sie als ideale Fülllänge ausschließlich eine am röntgenologischen Apex endende Obturation. Als zu kurz beziehungsweise zu lang galten Füllungen, die größer oder gleich 0,5 mm vom Apex entfernt waren beziehungsweise mehr als 0,5 mm über den Apex hinaus appliziert wurden [4]. Heling und Kischinovsky hingegen teilten die Längenkriterien, ausgehend vom radiologischen Apex, in über 2 mm zu kurz, weniger als 2 mm zu kurz, am Apex endend und über den Apex hinaus obturiert ein [194]. Neben den genannten Studien

wurden in weiteren Studien auch andere Bewertungsmöglichkeiten der Länge benutzt [88, 123, 148, 195]. In Anbetracht dessen, dass die oben beschriebenen drei Bewertungsmöglichkeiten in der internationalen Literatur häufig Verwendung fanden, schien es zu Vergleichszwecken sinnvoll, die in der hier vorliegenden Studie verwendete Feinskalierung auch in die üblich gebräuchlichen Dreistufenskala zusammenzutragen.

### Homogenität

Neben der Länge ist die Homogenität ein weiteres röntgenologisches Qualitätsmerkmal, das mit dem Ergebnis endodontischer Behandlungen korreliert [45, 98]. Als homogene und dichte Wurzelfüllungen wurden diejenigen betrachtet, die im zweidimensionalen Röntgenbild – soweit beurteilbar – als kontinuierliche röntgenopake Masse, gut kondensiert, an den Kanalwänden adaptiert und frei von Hohlräumen oder eingeschlossenen Luftblasen abgebildet waren [111]. Diese Auslegung der Homogenität deckt sich mit der Definition und Ansicht in der internationalen Literatur [100, 113, 117-119, 123-125, 178, 192, 193, 196].

### Periapikaler Index (PAI)

Der periapikale Index nach D. Ørstavik, basierend auf histologischen Untersuchungen, ermöglicht die röntgenologische Beurteilung pathologischer Veränderungen im Rahmen einer apikalen Parodontitis unter Verwendung von Referenzradiografien in fünf Schweregrade [15]. Die definierten Grade des PAI, bei denen PAI 1 einen radiologisch gesunden Periapex beschreibt und die Grade 2-5 den radiologisch zunehmenden Schweregrad einer apikalen Parodontitis repräsentieren, ermöglichen eine gewisse Stringenz hinsichtlich der Bewertung der knöchernen Veränderung sowie eine erhöhte Reproduzierbarkeit der Ergebnisse [15, 140, 144]. Der PAI Grad 3 kann prognostisch als ungewiss eingestuft werden. Um jedoch klare Bewertungskriterien zu schaffen, wurden in der hier vorliegenden Arbeit die PAI Grade 1 und 2 als „gesund“ und die Grade 3, 4 und 5 als „erkrankt“ kategorisiert. Weitere Studien bedienen sich derselben Zusammenfassung des Index [7-9, 148, 149, 159, 163, 173, 197-199]. Aufgrund der Zuordnung des Grades 3 zu den nicht gesunden Fällen ist von einer potentiellen Vermehrung erkrankter Zähne auszugehen. Die Zuordnung des PAI Grad 2 zu den gesunden Zähnen beugt der Überdiagnose und der damit einhergehenden Übertherapie vor [144]. Jedoch ist anzunehmen, dass Fälle mit kleinen postendodontischen Läsionen, die röntgenologisch erst bei auch betroffener Kortikalis erkennbar sind, als gesund eingestuft wurden. Dies führt

wiederum zu einem etwaigen Anstieg der als gesund kategorisierten Zähne. Ein solcher Anstieg geht beispielsweise aus einer von Ørstavik et. al. veröffentlichten Studie hervor: Bei Betrachtung der Grade 1 und 2 als erfolgreiches Behandlungsergebnis lag die Erfolgsrate bei 79 %, wogegen sie bei alleiniger Betrachtung des PAI 1 als erfolgreich lediglich bei 26 % lag [144, 187]. Die unterschiedliche Dichotomisierung des periapikalen Index führt demnach zu unterschiedlichen Erfolgsraten beziehungsweise Ergebnissen bei den als gesund kategorisierten Zähne [144]. Jedoch Ørstavik et. al. selbst beschreiben unter anderem die Zusammentragung des PAIs als "cut-off above score 3" als sinnvolle Herangehensweise um klare Bewertungskriterien zu schaffen [15].

Der PAI ist ein Bewertungssystem zur Registrierung apikaler Parodontitiden und dem daraus resultierenden Gesundheitsstatus eines Zahnes [15]. Oft findet der Index allein zur Beurteilung des Gesundheitszustandes Verwendung. Alternativ werden ergänzend klinische Kriterien hinzugezogen [7-9, 148, 149, 159, 197, 199, 200]. Neben seinem ursprünglich angedachten Gebrauch wird er im Rahmen von Follow-up-Studien unter anderem auch zur Beurteilung des Therapieerfolges beziehungsweise des Misserfolges eingesetzt [199]. Auch dabei wird der Index entweder in Kombination mit klinischen Parametern oder allein als erfolgsdefinierender Parameter angesehen [144, 163, 198]. Im Rahmen der hier vorliegenden Studie wurde der PAI initial zur Erfassung des periapikalen Gesundheitsstatus verwendet. Die Verlaufskontrolle ermöglichte den direkten Vergleich des PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung mit dem PAI der Nachuntersuchung. Basierend darauf wurde anhand des PAI der Erfolg der Behandlung registriert. Da die röntgenologische Beurteilung sowohl den Grenzen der Bildgebung als auch der individuellen Wahrnehmung des Begutachters unterliegt, ist eine fehlerhafte Zuordnung eines PAI Grades nicht auszuschließen [41, 58, 64, 142, 201]. Daher sollte neben der unterschiedlichen Zusammentragung auch die unterschiedliche Verwendung des PAI als ein Faktor betrachtet werden, der das Ergebnis beeinflussen kann.

Neben den röntgenologisch relevanten Parametern sind weitere Definitionen nicht außer Acht zu lassen:

### Zahntyp

Für die statistische Analyse lassen sich in der Literatur unterschiedliche Herangehensweisen hinsichtlich der Stratifizierung des Zahntyps finden [176]. Sowohl Jokinen et. al. als auch Swartz et. al. nahmen eine präzise Einteilung in den genauen Zahntyp und die beiden Kiefer

vor [4, 126]. Benenati und Khajotia differenzierten ebenfalls zwischen Ober- und Unterkiefer, teilten die Zähne jedoch in anteriore Zähne (Frontzähne), Prämolaren und Molaren ein [180]. Unter analoger Kategorisierung betrachteten Dammaschke et. al. und Lazarski et. al. in ihren Studien Maxilla und Mandibula hingegen nicht separat [128, 157]. Alternativ wurde in weiteren Studien bei den Frontzähnen zwischen Inzisivi und Canini differenziert und bei Molaren zwischen den ersten und zweiten beziehungsweise zwischen Ober- und Unterkiefermolaren unterschieden [117, 202, 203]. In der hier vorliegenden Studie wurden die Ergebnisse von Ober- und Unterkieferzähnen desselben morphologischen Typs zusammengetragen. Folglich ergaben sich vier Gruppen: Inzisivi, Canini, Prämolaren und Molaren. Eine Unterscheidung nach Kiefer wurde lediglich im Zusammenhang mit der Überlebenswahrscheinlichkeit vorgenommen. Aufgrund der beschriebenen unterschiedlichen Ansätze bei der Kategorisierung des Zahntyps sind Vergleiche von Studienergebnissen mit Vorsicht zu betrachten.

### Diagnose

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie erfolgte die Einteilung der Diagnosestellung in Anlehnung an die „Recommended Diagnostic Terms“ der AAE, die zum Zeitpunkt der Einführung der Datenbank (2009/10) publiziert wurde [204]. Anhand klinischer und röntgenologischer Befunde wurden folgende Krankheitsbilder differenziert: symptomatische/asymptomatische irreversible Pulpitis, Pulpanekrose ohne periradikuläre Beteiligung, symptomatische/ asymptomatische periapikale Parodontitis und vitale Pulpa (Devitalisation/Trauma). Andere Untersuchungen erfassten den pulpalen Status hinsichtlich der Vitalität [89, 99, 100, 166, 205]. Da die Vitalität auf einer effizienten Durchblutung basiert, wird bei der Vitalitätsprüfung unter Verwendung der kryogenen Methode (Kältespray), die eine übliche Herangehensweise darstellt, genaugenommen die Sensibilität - sprich die Reizweiterleitung - und nicht die Vitalität überprüft. Folglich ist anzunehmen, dass dabei Zähne als falsch avital eingestuft werden, da eine fehlende Sensibilität eine fehlende Vitalität nicht impliziert [154]. Die Vitalitäts- genauer gesagt die Sensibilitätsprüfungen stellten auch im Rahmen dieser Studie einen Teil der Diagnostik dar, wobei die Diagnose unter Hinzuziehung weiterer klinischer und röntgenologischer Befunde gestellt wurde. Die alleinige Beurteilung mittels Sensibilitätstest wurde aufgrund der beschriebenen Umstände nicht in Betracht gezogen. Hoskinson et. al. gingen detaillierter auf das Krankheitsbild ein und unterteilten die präendodontische klinische Diagnose in pulpal (vital und avital) und periradikuläre Diagnose, wobei bei letzterer zwischen gesundem periradikulären Gewebe, akuter und chronischer

periradikulärer Parodontitis und chronisch suppurativer periradikulärer Parodontitis differenziert wurde [160].

### Gesamtqualität

Die Gesamtqualität der Wurzelkanalbehandlungen wurde anhand einer Kombination der Qualitätsparameter Länge und Homogenität bestimmt. Als zufriedenstellend galten sie dann, wenn röntgenologisch eine homogene und randständige Obturation mit idealer Länge – Längenbeurteilung „ideal“ und „1-2 mm zu kurz (short filling) – vorzufinden war. Diese Interpretation der Gesamtqualität deckte sich mit derjenigen weiterer Studien, wobei die ideale Wurzelfülllänge in Abhängigkeit der jeweiligen Publikation gegebenenfalls unterschiedlich definiert wurde [113, 118, 119, 148, 197, 198, 206]. Weitere Studien zogen zur Beurteilung der Gesamtqualität zusätzlich zur Länge und Homogenität den Taper (Konizität) hinzu [183, 207, 208]. Alternativ wurde der technische Standard anhand des Vorhandenseins von Hohlräumen oder der adäquaten Abdichtung bemessen, was in der hier vorliegenden Studie eher der Kriteriendefinition der Homogenität entspricht [87, 98]. In diesem Kontext ist darauf hinzuweisen, dass die Beurteilung der Gesamtqualität lediglich anhand der röntgenologisch sichtbaren Parameter erfolgte.

### Erfolg und Misserfolg

In Anlehnung an Ørstaviks et. al. Beschreibung des PAIs als ein zur Beurteilung des Behandlungserfolges anwendbarer Index, wurde der Behandlungserfolg und die damit verknüpfte Erfolgsrate anhand des periapikalen Index bemessen [15]. Dabei wurden Zähne mit PAI Grad 1 oder 2 als Therapieerfolg und die verbleibenden drei Grade als Behandlungsmisserfolg betrachtet.

Offensichtlich ruft das Fehlen einer allgemein anerkannten Definition des Begriffs „Erfolg endodontologischer Behandlungen“ eine Mehrdeutigkeit und unterschiedliche Auffassungen im Rahmen endodontischer Studien hervor [155, 209]. Einerseits setzten beispielsweise Dammaschke et. al. den Erfolg mit dem behandelten Zahn in situ gleich, andererseits wurde er über klinische und/oder röntgenologische Kriterien definiert [6, 135, 157, 160, 176]. Aus der Studie von Ng et. al. geht hervor, dass sich die ausschließliche Verwendung röntgenologischer oder klinischer Parameter gegenüber der Kombination beider Kriterien sowie die Anwendung strengerer beziehungsweise weniger strenger Kriterien in der Erfolgsrate widerspiegeln. Die

Heilungsrate unter dem alleinigen Einsatz radiologischer Kriterien lag bei 86,9 %, bei separater Verwendung klinischer Parameter bei 91,3 %. Dagegen lag die Heilungsrate bei der Verwendung der Parameter in Kombination und in Abhängigkeit von strengeren beziehungsweise weniger strengen Kriterien bei 82,8 % beziehungsweise bei annähernd 90 % [181]. Ein derartiger Unterschied konnte aus Hoskinson et. al. Studie nicht entnommen werden [160]. Auch die separate Kategorisierung „ungewisser“ beziehungsweise „sich im Heilungsprozess befindender“ Zähne beeinflusst die Erfolgsquote [155]. So vernahmen Azim et. al. eine Erfolgsrate von 81,7 %, wobei sie geheilte und sich im Heilungsprozess befindende Fälle zusammenfassten. Bei isolierter Betrachtung der geheilten Fälle lag die Erfolgsrate bei 77,3 % [166].

Da für den evidenzbasierten Nachweis des Erfolges eine mikrobiologische sowie eine histologische Untersuchung notwendig wäre, die sich am Patienten/an der Patientin nicht als nicht praktikabel erweist, hat sich die Verwendung repräsentativer klinischer und radiologischer Referenzen etabliert [131, 132]. Ungeachtet des Infektions-/Entzündungsgrades manifestiert sich das klinische Erscheinungsbild oft asymptomatisch [62, 131]. Ausgehend davon basiert die Erfolgsbeurteilung häufig auf radiologischen Verlaufskontrollen, wobei der periapikale Zustand von höchster Relevanz ist [131]. In diesem Zusammenhang ist die Verwendung von Indizes wie dem PAI oder den Strindberg-Kriterien, die eine stringente und objektive Beurteilung ermöglichen, gebräuchlich [140-142, 145].

Die Verwendung des PAI zur röntgenologischen Erfolgsbeurteilung ist eine allgemein anerkannte Herangehensweise, die jedoch mit den Grenzen der radiologischen Bildgebung und weiteren Limitierungen verbunden ist [41, 45, 144, 210]. Die verwendete Dichotomisierung des periapikalen Index ist ein mit der Erfolgsrate korrelierender Faktor: Ausgehend von der Zuordnung von Zähnen mit einem PAI Grad 3 zu den erkrankten Zähnen – obwohl sie sich eventuell im Heilungsprozess befanden und die Therapie folglich Wirkung zeigte – ist eine erhöhte Misserfolgsrate anzunehmen. Dies ist ein allgemein bekanntes Problem derartiger Studien [211, 212]. Um dem entgegenzuwirken wäre die Zusammentragung "cut-off within score 3" denkbar, wobei die Steigerung des PAI 1 oder 2 auf Grad 3 als Misserfolg und die Persistenz des Grad 3 beziehungsweise die Reduktion von Grad 4 oder 5 auf Grad 3 als Erfolg erachtet wird [15]. Diese Anwendung würde jedoch in unterschiedlichen Therapieansätzen hinsichtlich der Behandlungsnotwendigkeit für bereits wurzelkanalbehandelte Zähne und

unbehandelten Zähnen mit PAI Grad 3 resultieren. Dies rechtfertigt die Schaffung einer klaren Erfolgs-/ Misserfolgsbeurteilung im Sinne der Dichotomisierung "cut-off' above score 3" [15].

Die radiologische Abwesenheit einer apikalen Läsion ist nicht als sichere Bestätigung des Therapieerfolges anzusehen, da die Visualisierung von Läsionen röntgenologisch eingeschränkt ist [41, 131, 144]. So werden in Abhängigkeit der Kompaktadicke rein in der Spongiosa lokalisierte Läsionen nicht zwingend abgebildet [41, 144]. Dennoch wurden, um einer Übertherapie vorzubeugen, Zähne mit einem PAI von 2 als gesund und somit als Behandlungserfolg erachtet [144]. Dies wiederum begünstigt die Erfolgsrate und wirkt der zuvor erläuterten Verschiebung zugunsten der Misserfolgsrate entgegen. Um den Behandlungserfolg zu eruieren, schlossen Eriksen et. al. ausschließlich Zähne ein, deren initialer PAI 3 oder höher war – also Zähne, die initial bereits periapikal erkrankt waren. Dies erlaubte ihnen die genaue Erfassung derjenigen Zähne, bei denen eine Heilung des periapikalen Gewebes im Sinne einer PAI Veränderung von Grad 3, 4 oder 5 zu Grad 1 beziehungsweise 2 vorlag [179]. Die hier angegebene Erfolgsrate schließt auch Zähne mit ein, bei denen sich die Entzündung nur auf das pulpale Gewebe beschränkte und die somit bereits präendodontisch einen gesunden PAI hatten. Da das Ziel der endodontischen Behandlung neben der Wiederherstellung gesunder periapikaler Strukturen auch die Vorbeugung periradikulärer Entzündungen ist, hat die hier erfolgte Erfassung des Therapieerfolges durchaus ihre Berechtigung [14, 15]. Zudem ist die postendodontische Verschlechterung des PAI, ungeachtet des initialen PAI, möglich. Trotz kontroverser Aspekte fand die Herangehensweise der Zusammentragung des periapikalen Index auch in weiteren Studien häufig Verwendung und vereinfacht deren Vergleich [7-9, 90, 148, 149, 159, 163, 173]. Alternative Anwendungen des PAI sind durchaus gegeben. So beurteilten Waltimo et. al. und Kayahan et. al. lediglich die mit Grad 1 beurteilten Zähne als erfolgreich therapiert [206, 213]. Dies wiederum minimiert die Erfolgsrate enorm, was aus der Studie von Ørstavik et. al. hervorgeht [144, 187]. Zaninis et. al. Auffassung nach ist zur Erfassung periapikaler Veränderung im Rahmen der Nachuntersuchung die Verwendung des PAI in seiner ursprünglichen Form, bei dem zwischen den Graden 3, 4 und 5 unterschieden wird, am sinnvollsten. Zanini et. al. standen der Verwendung des Index in gesund und erkrankt, die keine genauere Differenzierung erlaubt, kritisch gegenüber [214].

Die Follow-up-Periode von mindestens einem Jahr erlaubt es, Heilungstendenzen beziehungsweise die Verheilung von Läsionen zu erkennen und den Therapieerfolg zu beurteilen [190, 198, 199]. Da der Heilungsprozess jedoch auch mehrere Jahre beanspruchen

kann, ist nicht auszuschließen, dass bei Fällen mit PAI Grad 4 oder 5 die Behandlung als gescheitert kategorisiert wurde, obwohl sich der Therapieerfolg im Sinne einer Reduktion der apikalen Läsion – also die Minimierung des initialen PAI – manifestierte [41, 151, 199, 215]. Dies ist ein durchaus bekannter limitierender Faktor solcher Studien [211]. Zudem ist auch darauf hinzuweisen, dass Zähne, die eine Veränderung von einem initialen PAI 1 auf PAI 2 aufwiesen, als erfolgreich therapiert galten, obwohl sie eine Verschlechterung des PAI zeigten. Dies begünstigt die Erfolgsquote der Studie. Jedoch wäre die Verwendung des nicht dichotomisierten PAI, wie Zanini et. al. es beschreiben, in diesem Zusammenhang durchaus denkbar [214].

Trotz der Anwendung des PAI zur konsequenten und unvoreingenommenen Erfolgsbeurteilung unterliegt die Befundung von Röntgenbildern der individuellen Wahrnehmung des Begutachters [140, 142, 201]. Reit und Kvist unterstrichen den Einfluss individuellen Wissens, beispielsweise die Kenntnis des präendodontischen apikalen Zustandes, auf den Erfolgsentschied [41, 209]. Ausgehend von diesen Erkenntnissen ist auch im Rahmen der hier vorliegenden Studie von einer individuellen Beeinflussung bei der Röntgenbeurteilung und somit bei der Entscheidung hinsichtlich des Erfolges auszugehen.

Neben der angewandten röntgenologischen Erfassung des Erfolges und der daraus resultierenden Erfolgsrate spielt auch die Kategorisierung von Zähnen, die zum Recall-Zeitpunkt bereits extrahiert waren beziehungsweise bei denen im Rahmen der Nachuntersuchung eine Extraktion aufgrund mangelnder Erhaltungswürdigkeit indiziert wurde, als Recall-Abbruch anstatt als Misserfolg eine Rolle. Dabei ist von einer Minimierung der Misserfolgsrate auszugehen. Dies schien jedoch vertretbar, da der Extraktionsgrund nicht in allen Fällen bekannt war beziehungsweise nicht zwingend mit dem Scheitern der Wurzelkanalbehandlung in Zusammenhang stand.

Der endodontische Behandlungserfolg wird aufgrund seiner Mehrdeutigkeit variabel aufgefasst, unterschiedlich klassifiziert und stellt eine kontroverse Thematik dar [155, 156, 209]. Die beschriebenen Faktoren machen die Schwierigkeit einer korrekten Beurteilung und Erfassung des Therapieerfolges aufgrund einer fehlenden international gültigen Definition deutlich. Daher erscheint eine Definition hinsichtlich der Zielsetzung, wie Friedmann et. al. sie beschrieben, sinnvoll [155, 156].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass grundsätzlich eine international standardisierte Richtlinie hinsichtlich des endodontischen Studienmodells sowie der Kriteriendefinition wünschenswert wäre, da die große Variabilität dieser den Vergleich von Studienergebnissen

nur bedingt erlaubt [43, 45, 135]. Folglich sind die Ergebnisse innerhalb des Studiendesigns zu diskutieren [154].

### Überleben

In der hier vorliegenden Studie wurde ungeachtet des PAIs zum Zeitpunkt des Recalls, der zur Erfolgsbeurteilung ausschlaggebend war, das Überleben über das Vorhandensein des Zahnes in der Mundhöhle (Funktionalität) definiert. Sowohl klinische als auch röntgenologische Aspekte wurden in diesem Zusammenhang außen vorgelassen. Die Intervention im Sinne einer Extraktion wurde als Nicht-Überleben erachtet, wobei im Falle einer Extraktion hinsichtlich der Ursache nicht differenziert wurde. In Anbetracht dessen, dass für den Patienten/ die Patientin letztlich das Vorhandensein beziehungsweise das Fehlen des behandelten Zahnes maßgebend ist, schien diese Herangehensweise sinnvoll und deckte sich mit derjenigen von Dammaschke et. al. und Ng et. al. [138, 157]. In der Studie von Stoll et. al. unterschied sich die Kriteriendefinition insofern, dass neben der Extraktion auch die Intervention in Form einer WSR oder Revision als Nicht-Überleben deklariert wurde [154]. Entgegen den beschriebenen Herangehensweisen gingen Doyle et. al. vor: sie differenzierten unter Berücksichtigung klinischer und radiologischer Kriterien unter anderem zwischen erfolgreich behandelten Zähnen und überlebenden Zähnen. Dabei wurden Zähne, die in situ waren und mit Heilungstendenzen einhergingen beziehungsweise deren Heilung als ungewiss eingestuft wurde, als überlebend erachtet. Zähne mit bereits erfolgter Intervention wurden separat als „überlebend mit Intervention“ kategorisiert [163]. Die separate Kategorisierung wurzelspitzenresezierter/ revidierter Zähne wäre insofern gerechtfertigt, da diese Formen der Intervention in den meisten Fällen nicht vom Studenten/ der Studentin durchgeführt wurden. Eine Verschiebung der geschätzten Überlebensrate unter Hinzuziehung klinischer und röntgenologischer Parameter ist nicht auszuschließen, da beispielsweise das Vorhandensein von Symptomen mit einem Therapiemisserfolg korrelieren kann. Dem wirkt jedoch ein ausreichend langer Beobachtungszeitraum entgegen [154].

#### **5.1.4 Radiologische Beurteilung**

Grundsätzlich unterliegt die radiologische Befundung der subjektiven Wahrnehmung des Betrachters [142, 201]. Um dem entgegenzuwirken, erfolgte die Beurteilung der Röntgenbilder unter Verwendung des periapikalen Index. Neben der genannten Stringenz hinsichtlich der

Beurteilung knöcherner Veränderungen sowie der erhöhten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ermöglicht die Anwendung des PAI eine unvoreingenommene objektive Beurteilung von Röntgenbildern [15, 45, 140, 145]. Zudem machen die Hinzuziehung von Referenzradiografien sowie die Möglichkeit der Kalibrierung durch den Beurteiler die Verwendung des PAI sehr attraktiv [41, 141]. Aufgrund der Tatsache, dass der PAI auf radiologischen und histologischen Befunden der oberen Inzisiven beruht, ist seine universelle Anwendung für alle Zahntypen fraglich, da die Dicke des kortikalen Knochens sowie die Position der Wurzelspitze in Bezug auf die Kortikalis in Abhängigkeit von der Zahnposition variieren [144]. Eine Untersuchung der Zuverlässigkeit des PAI zeigte jedoch eine über 93%ige Übereinstimmung von PAI-Scores beziehungsweise eine Differenz um einen Grad. Dies gilt sowohl für die Intra- und die Interobserver-Variation des gleichen Bildes als auch für die Intraobserver-Übereinstimmung bei der Beurteilung von zwei Röntgenbildern derselben Wurzel [216].

Auch in diesem Zusammenhang ist nochmals darauf hinzuweisen, dass die Dichotomisierung zu einer potentiellen Vermehrung erkrankter Zähne führt, weil die PAI Grade 1 und 2 als „gesund“ und die verbleibenden drei Grade als „erkrankt“ kategorisiert wurden. Dem wirken jedoch die wegen der röntgenologischen Grenzen fälschlicherweise den gesunden Fällen zugeordneten erkrankten Zähne entgegen.

Vor der Anwendung des PAI zur Beurteilung der Röntgenbilder erfolgte eine ausführliche Einarbeitung der Begutachterin durch den endodontischen Spezialisten. Jedoch liegen Studien vor, die den tatsächlichen Nutzen einer Kalibrierung durch den Begutachter für nicht erheblich erachten [45, 152, 217]. Die erste Befundung des Röntgenbildes erfolgte durch den jeweiligen studentischen Behandelnden. Der folgende alleinige Befundungsdurchgang durch die Begutachterin ermöglichte die Erfassung etwaiger studentischer Fehlbeurteilungen. Bei auftretenden Fragen hinsichtlich der Befundung stand der Spezialist jederzeit zur Verfügung. Durch die anschließende finale gemeinsame Beurteilung der Röntgenbilder durch den Endodontie-Spezialisten und die Begutachterin konnten untersucherspezifische Folgefehler der Begutachterin im Rahmen der alleinigen Beurteilung minimiert werden.

### **5.1.5 Radiologische Limitationen**

Die radiologische Bildgebung ist unerlässlich zur Diagnosestellung und für das Management von Krankheitsbildern, bei denen eine endodontische Behandlung indiziert ist, sowie für die Follow-up-Studien [41, 218]. Sie alleine ermöglicht nach Abschluss der Therapie die

Qualitätsbeurteilung der Wurzelkanalfüllung [45]. Auch in der hier vorliegenden Studie wurden Röntgenbilder zur Bewertung der Qualitätsparameter Länge und Homogenität sowie für den apikalen Status herangezogen. Die röntgenologische Verlaufskontrolle erlaubt es, die Heilungstendenz oder auch eine Aggravation einer Läsion zu ermitteln [214]. Zusätzliche klinische Untersuchungen ermöglichen eine genauere Beurteilung, ob die Behandlung erfolgreich war oder gescheitert ist. Jedoch ist es nicht unüblich, dass die Entscheidung hinsichtlich des Erfolges/Misserfolges rein röntgenologisch fundiert ist [85, 91, 123, 131, 145, 151, 179, 219, 220]. Die zweidimensionale Wiedergabe dreidimensionaler Strukturen unterliegt offensichtlich einigen Einschränkungen [41, 45, 58, 64]. Neben Überlagerungen anatomischer Strukturen und Verzerrungen kommt es unter anderem zu einem Informationsverlust hinsichtlich der Wurzelkanalanatomie, der Knochendicke und in mesio-distaler Richtung [56, 58, 111]. Zudem ist die räumliche Zuordnung von Läsionen zu anatomisch relevanten Strukturen nicht immer ersichtlich [41].

Die röntgenologische Darstellung von Läsionen entspricht nicht zwangsläufig dem tatsächlichen Entzündungsgrad und dem histologischen Befund [41, 61, 218]. In Abhängigkeit von der Lokalisation in den verschiedenen Knochentypen wird die Visualisierung von Osteolysen beeinträchtigt [41]. So beschrieb neben Bender und Seltzer auch van der Stelt, dass die Darstellung von Läsionen erst bei Beteiligung des kortikalen Knochens gegeben ist. Rein in der Spongiosa lokalisierte Läsionen sind nicht beziehungsweise mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit detektierbar [59, 60, 221-223]. Aufgrund der unterschiedlichen Dicke des kortikalen Knochens spielt auch die Region entlang des Kiefers, in der die Läsion liegt, eine Rolle. So werden Osteolysen, die von einer dünnen Kortikalis bedeckt sind, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit abgebildet als diejenigen, die von einer dicken Kompakta überlagert werden – beispielsweise rein in der Spongiosa lokalisierte Läsionen im Molarbereich des Unterkiefers [41, 144]. Des Weiteren führt die verminderte Darstellung von Übergangszuständen zwischen gesundem periapikalen Gewebe und einem progredienten Krankheitsstadium zu unterschiedlichen Wahrnehmungen seitens der Betrachter. Dies ruft in der Folge unterschiedliche Diagnosestellungen beziehungsweise Erfolgsbeurteilungen hervor und bringt eine größere interobserver variability mit sich, die zusätzlich weiteren beeinflussenden Faktoren unterliegt [41].

Üblicherweise wird der apikale Zahnfilm zur Beurteilung der Ergebnisse endodontischer Behandlungen herangezogen [66]. Dabei werden das Fehlen einer apikalen Parodontitis als physiologisch gesunder Zustand und die Reduktion der Läsion als Heilungsprozess angesehen

und häufig als radiologisches Kriterium zur Bestimmung des Therapieerfolges verwendet [144]. Sowohl aus Lofthag-Hansens et. al. Studie, bei der anhand von periapikalen Röntgenbildern von 46 Zähnen 32 eine Läsion aufwiesen und mittels DVT 10 weitere Zähne mit Läsion detektiert wurden, als auch aus Estrelas et. al. Studie, die eine 30%ig höhere Detektionsrate von postendodontischen apikalen Aufhellungen anhand der DVT ermittelten, geht hervor, dass die DVT die Detektion apikaler Läsionen ermöglicht, die mittels konventioneller Bildgebung nicht abgebildet wurden [65, 144, 224]. Auch die röntgenologisch erfasste Reduktion von Läsionen ist kritisch zu betrachten. [144]. Paula-Silva et. al. stellten fest, dass die Ausdehnung von Osteolysen in den spongösen Knochen, oftmals in oraler Richtung, nur mittels DVT erfasst wurde. Von 30 Fällen, bei denen radiologisch eine Reduzierung der apikalen Aufhellung diagnostiziert wurde, wiesen 24 Fällen eine von der DVT erfasste Läsionsaggravation auf [144, 225]. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Abwesenheit einer zuvor vorhandenen periapikalen Läsion beziehungsweise ihre Verkleinerung auf Röntgenaufnahmen keine Garantie für einen gesunden Periapex beziehungsweise für den Heilungsprozess ist [144]. Trotz der Überlegenheit der digitalen Volumentomographie hinsichtlich der Läsionsdetektion ist diese aufgrund der erhöhten Strahlenexposition der Behandelten nicht als gängiges Bildgebungsverfahren vertretbar. Sowohl die ESE als auch die AAE betonen, dass die DVT erst dann in Erwägung zu ziehen ist, wenn die Diagnosestellung und das Management der Behandlung mittels konventioneller Bildgebung nicht möglich sind [64, 83, 84, 226].

Ob hinsichtlich der Wurzelkanalbehandlung das OPG dem Zahnfilm unterlegen ist, wird aus der Literatur nicht deutlich ersichtlich [71]. So vertreten Ahlqwist et. al. und Muhammed und Manson-Hing die Ansicht, dass zwischen den beiden Verfahren keine Unterschiede vorliegen [73, 74]. Entgegen dieser Meinung äußerten sich Flint und Stephens et. al. [70, 72]. Molanders et. al. Studie zufolge variiert die Sensitivität der Panoramaschichtaufnahme zur Visualisierung periapikaler Veränderungen in Abhängigkeit vom Zahntyp im Kiefer [78]. Da anzunehmen ist, dass im Zuge endodontischer Maßnahmen der Zahnfilm dem OPG nicht unterlegen ist, wurden im Rahmen der initialen Behandlung sowie der Nachuntersuchung apikale Zahnfilme angefertigt. So konnten unklare Ergebnisse und die damit einhergehenden etwaige Fehlerquellen minimiert werden.

Für die Erstellung der Röntgenbilder wurde der digitale Sensor XCP DS Sensor Intraoral II von Sirona® verwendet. Laut der Studie von Yokota et. al. wiesen digitale Sensoren gegenüber

Speicherfolien eine höhere Sensitivität hinsichtlich der Knochenläsionen innerhalb der Spongiosa auf. Bei der Visualisierung von Osteolysen, die den kortikalen Knochen betrafen, wurden keine Unterschiede festgestellt [227]. Kullendorff et. al. identifizierten unabhängig von den betroffenen Knochenareale keine Differenzen zwischen den beiden Bildgebungsverfahren [228]. Angesichts des Austausches der Röntgeneinheit im Jahr 2015, der mit einer potentiell verbesserten Technologie der Einheit verbunden war, kann ein Qualitätsunterschied der Röntgenbilder innerhalb der Untersuchungsjahre nicht ausgeschlossen werden. Die dreifache Beurteilung der Röntgenbilder sowie die Verwendung des Programmes Sidexis, das die Anpassung des Kontrastes, der Helligkeit und die Lupenfunktion erlaubt, wirken dem entgegen. Von diesem Standpunkt aus gesehen kann ein möglicher geringer Qualitätsunterschied vernachlässigt werden.

Die Qualität der Wurzelkanalbehandlung ist ein mit dem periapikalen Zustand korrelierender Parameter, bei dem sich zur Beurteilung die Verwendung von apikalen Zahnfilmen als praktikabel erwiesen hat [79, 90, 114]. Die Bewertung der Homogenität ist aufgrund des Informationsverlustes in mesio-distaler Richtung nur eingeschränkt möglich, so dass ein radiologisch gutes Erscheinungsbild in vestibulo-oraler Richtung nur bedingt aussagekräftig ist [111]. Eckerbom und Magnusson beschrieben die Beurteilung der lateralen Adaption anhand eines lediglich orthoradialen Röntgenbildes als unzureichend [90, 114]. Um eine realistischere Einschätzung abgeben zu können, sollten die Homogenität und die laterale Adaption an die Kanalwände zumindest mittels mesial und/oder distal angulierter Röntgenbilder beurteilt werden [45]. Die barrierefreie Beurteilung der Homogenität ist eine allgemein bekannte Problematik, die alle derartigen Studien betrifft; dennoch ist die Bewertung der Dichte als Qualitätsparameter üblich [45, 90, 100, 113, 117, 118, 178, 192, 193, 196].

Aufgrund der besseren Reproduzierbarkeit ist die Beurteilung der Länge ein realitätsgetreuerer Qualitätsparameter [114]. Trotzdem ist, vor allem bei mehrwurzeligen Zähnen, eine inkorrekte Längenwiedergabe nicht auszuschließen [45]. Darüber hinaus ist das radiologische Erscheinungsbild eines gefüllten Kanals nur ein Anhaltspunkt für die Versiegelungskapazität und erlaubt keine Aussage über die Bakteriendichte [90, 148]. Davon ausgehend ist eine weitere Qualitätsminderung nicht auszuschließen. Zudem ist anhand des Röntgenbildes die Beurteilung der koronalen Versorgung nur bedingt möglich, da okklusale, bukkale oder orale lokalisierte Defekte möglicherweise nicht abgebildet werden [45]. In Kenntnis dieser Hintergründe wird die Problematik der Definition und Anwendung röntgenologischer Qualitätsparameter deutlich und mit etwaigen Unstimmigkeiten ist zu rechnen [142].

Marending et. al. beschrieben, dass anhand der röntgenologischen Erscheinung des Periapex die mikrobielle Kontamination des Wurzelkanalsystems eingeschätzt werden kann, jedoch erlaubt es keine Beurteilung hinsichtlich der erfolgten Desinfektion und somit der Elimination der Mikroben [161, 197].

Trotz ihrer Grenzen haben sich bildgebende Verfahren als einzige praktikable Methode – sowohl in der klinischen Anwendung als auch zu studientechnischen Zwecken – zur Registrierung apikaler Pathologien und zur Beurteilung endodontischer Behandlungen in situ etabliert [66, 114, 229].

### **5.1.6 Erfassung der Überlebenswahrscheinlichkeit**

Hinsichtlich der Herangehensweise zur Erfassung der Überlebenswahrscheinlichkeit sind mehrere Komponenten zu berücksichtigen. Der Gesamtbeobachtungszeitraum der hier vorliegenden Studie betrug fünf Jahre. Bei durchgeführtem Recall wurde, wenn der zu untersuchende Zahn in situ war, das Datum der Nachuntersuchung erfasst. Im Falle einer Extraktion galt diese als Ende des Beobachtungszeitraums. Bei nicht vorhandenem Recall wurde der Beobachtungszeitraum auf fünf Jahre begrenzt. Die Herangehensweise zur Festlegung des Beobachtungszeitraums deckte sich mit derjenigen von Ng et. al. [138]. Neben Dammaschke et. al. gingen weitere Autoren ähnlich vor, wobei sie jeweils die zuletzt dokumentierte Nachuntersuchung beziehungsweise den Zeitpunkt der Intervention erfassten. Dabei handelte es sich jedoch – anders als in der hier vorliegenden Studie – um retrospektive Studien [154, 157, 171]. In diesem Zusammenhang ist unter anderem darauf hinzuweisen, dass im Zuge weiterer retrospektiver Studien die Datenerfassung anhand von Versicherungsdatenbanken erfolgte, so dass ein größerer Patientenpool inkludiert werden konnte. Voraussetzung hierfür war die Dokumentation aller notwendigen Informationen [128, 168, 172]. Der Gesamtbeobachtungszeitraum anderer Studien variierte zwischen zwei und zehn Jahren [128, 157, 168, 172]. In Anbetracht der Empfehlung der ESE ist der in der hier vorliegenden Studie gewählte Beobachtungszeitraum als angemessen anzusehen und entspricht demjenigen weiterer Studien [139, 167, 168, 173, 230]. Ein abweichendes Ergebnis bei Verwendung einer insgesamt längeren Observationsperiode ist durchaus denkbar, bleibt jedoch spekulativ.

Zur Erfassung der Überlebensrate wurde lediglich beachtet, ob der Zahn zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in Situ war. Weder klinische noch röntgenologische Parameter wurden

berücksichtigt. Im Gegensatz dazu dokumentierten beispielsweise Doyle et. al. ihre Ergebnisse – unter Verwendung eines abweichenden Studiendesigns – unter Berücksichtigung dieser Faktoren [163]. Das Vorhandensein klinischer Auffälligkeiten legt die Notwendigkeit einer Intervention nahe [154]. In Anbetracht dessen ist eine Verminderung der Überlebenswahrscheinlichkeit unter Hinzuziehung klinischer Faktoren durchaus denkbar.

Bei Betrachtung der radiologischen Aspekte kann einerseits davon ausgegangen werden, dass auch die Persistenz oder Aggravation periapikaler Pathologien weitere Behandlungsmaßnahmen unerlässlich machen, so dass es ebenfalls zu einer Verminderung der Überlebensrate käme. Andererseits liegen Hinweise vor, dass ein unzureichendes röntgenologisches Erscheinungsbild nicht zwangsläufig mit dem Überleben des Zahnes korreliert, was wiederum der zuvor erwähnten Verminderung entgegenwirken würde [168]. In Anbetracht der geschilderten Aspekte ist dieses Vorgehen, das sich mit denjenigen weiteren Studien deckte, durchaus vertretbar [154, 157, 171]. Der Zahnverlust endodontisch behandelter Zähne steht nicht notwendigerweise mit einer gescheiterten Wurzelkanalbehandlung in Verbindung. Neben endodontischen Ursachen können beispielsweise auch Frakturen oder Parodontopathien ursächlich sein [202]. Dass im Fall einer Exzision bezüglich der Ursache nicht differenziert wurde, führte zu einer negativen Beeinflussung der Überlebensrate [154]. Dennoch erwies sich dieses Vorgehen als sinnvoll, da davon auszugehen ist, dass für den Patienten/ die Patientin primär der Zahnverlust und nicht die Ursache dafür im Vordergrund steht [154, 157].

Zur statistischen Analyse erwies sich die Kaplan-Meier-Methode als geeignetes Mittel [154]. Weitere Studien bedienten sich ihrer zur Ermittlung der Überlebenswahrscheinlichkeit über den Beobachtungszeitraum und in Abhängigkeit verschiedener Parameter [154, 157, 171, 173]. Aufgrund der geringen Fallzahlen nach fünf oder mehr Jahren nach der Behandlung wurde die Observationsperiode auf fünf Jahre begrenzt. Diese Vorgehensweise hat durchaus ihre Berechtigung, da die Problematik, dass mit zunehmender Dauer der Observationsperiode der Anteil an Teilnehmern und Teilnehmerinnen sinkt, bekannt ist [154].

### **5.1.7 Der Zahn als Bewertungseinheit**

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie wurde jeweils der gesamte Zahn als Bewertungseinheit betrachtet. Bei einem mehrwurzeligen Zahn galt hinsichtlich der Länge, der Homogenität und des PAI die am schlechtesten beurteilte Wurzel stellvertretend für den

gesamten Zahn. Ørstavik et. al. beschrieben zur Anwendung des PAI dieselbe Herangehensweise [15]. Dies schien angesichts der Tatsache, dass die Initialbehandlung jeweils in toto durchgeführt wird oder im Falle eines therapeutischen Misserfolges meist der gesamte Zahn extrahiert wird, sinnvoll [154]. Die Betrachtung des Zahnes als Bewertungseinheit ist eine gängige angewandte Methodik [7-9, 99, 139, 154, 157, 165, 167-170]. Alternativ basieren die Ergebnisse Ricuccis et. al. und weiterer Autoren darauf, dass jeweils die einzelnen Wurzeln als Bewertungseinheit galten. Dabei wurden die Wurzeln individuell beurteilt, somit stand keine der Wurzeln stellvertretend für den gesamten Zahn [4, 87, 88, 112, 123, 151, 173, 177, 179, 181].

Da bei der Beurteilung des gesamten Zahnes und bei mehrwurzeligen Zähnen die unzureichende Beurteilung einer Wurzel als Misserfolg des gesamten Zahns zu erachten ist, kann angenommen werden, dass die Erfolgsrate bei Betrachtung des gesamten Zahnes als Ausgangspunkt tendenziell niedriger liegt als bei der Bewertung einzelner Wurzeln [160]. Dies ging auch aus der Studie von Swartz et. al. hervor, die bei Beurteilung einzelner Wurzeln eine Erfolgsrate von 89,66 % verzeichneten, wohingegen sie bei der Beurteilung des gesamten Zahnes um circa 2 % niedriger war [126]. In einer anderen Studie dagegen ergaben sich für beide Bewertungseinheiten ähnliche Erfolgsraten [160]. Der Vergleich von Studien, die bei der Beurteilung unterschiedliche Systematiken verwenden, ist kritisch zu betrachten [154].

## 5.2 Diskussion zu den Ergebnissen

### 5.2.1 Qualität der Wurzelkanalfüllungen

Die technische Qualität der Wurzelkanalbehandlung ist sowohl nach Smith et. al. als auch nach Sjögren et. al. hinsichtlich des Therapieziels von großer Bedeutung [87, 99]. Ein unzureichender Behandlungsstandard kann zu einem endodontischen Misserfolg führen [121]. Demnach ist die Qualitätsüberprüfung studentisch durchgeführter endodontischer Behandlungen ein wichtiger Aspekt der Qualitätssicherung an Universitäten, um das Behandlungsziel verwirklichen zu können [11]. Die im folgenden verwendeten Studien zur Gegenüberstellung untersuchten ebenfalls die von Studierenden erbrachten Leistungen [121, 123, 182-184, 208, 231].

#### Gesamtqualität

Insgesamt wiesen 64 % der durch Studenten und Studentinnen behandelten Zähne eine ideale Gesamtqualität auf und weitere 18 % eine akzeptable Gesamtqualität. Die Zusammentragung all derjenigen Füllungen die zum einen homogen und zum anderen eine ideale, eine 1-2 mm zu kurze Wurzelfülllänge oder einen apikalen Puff hatten erhöht den Anteil qualitativ annehmbarer obturierter Zähne auf 82 %. Eine derartige Zusammentragung ist insofern gerechtfertigt, da Zähne mit einem apikalen Puff sowohl hinsichtlich der Erfolgsrate als auch hinsichtlich Überlebenswahrscheinlichkeit ähnlich beziehungsweise besser abschnitten wie diejenigen Zähne mit idealer oder 1-2 mm zu kurzer Fülllänge. Weitere Studien untersuchten den technischen Standard von Wurzelkanalfüllungen, die von Studierenden durchgeführt wurden, wobei der direkte Vergleich der Studienergebnisse aufgrund teils abweichender Kriteriendefinition und unterschiedlicher verwendeter Aufbereitungstechniken sowie Fülltechniken nur bedingt möglich ist [11, 121, 182-184, 207, 208]. So untersuchten beispielsweise Barrieshi-Nusair et. al. Wurzelkanalbehandlungen, die mittels Step-back-Technik aufbereitet und anschließend lateral kompaktiert wurden, während in der hier vorliegenden Studie die Zähne unter Verwendung von MTwo Feilen aufbereitet und entweder lateral kompaktiert, warm-vertikal oder trägerbasiert obturiert wurden [208]. Fong et. al. gelangten zu einem ähnlichen Anteil ideal gefüllter Zähne, wobei sie die Gesamtqualität in Abhängigkeit von Länge, Homogenität und Taper beurteilten [207]. Kelbaskas et. al. verzeichneten mit 84,1 % einen ähnlichen Anteil annehmbarer obturierter Zähne, während der Anteil in Kerekes und Tronstad Studie mit 91 % höher und in Vukadinov et. al. sowie Lynch

und Burke Veröffentlichungen mit 74,2 % und 70 % niedriger war. Letztere untersuchten lediglich einwurzelige Zähne [121, 123, 184, 231]. Barrieshi-Nusair et. al., Talabani et. al. sowie Habib et. al. beschrieben jeweils weniger als die Hälfte der behandelten Zähne als zufriedenstellend obturiert [208, 232, 233]. Balto et. al. sowie Hayes verzeichneten lediglich 22,7 % beziehungsweise 13 % als adäquat gefüllt [183, 234]. Die durchschnittlich zufriedenstellende Gesamtqualität in Ribeiros et. al. Meta-Analyse betrug 48,75 %. Ähnlich wie Hayes beschrieben sie die Qualität studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen als niedrig [113, 234].

### Länge

Unter Anwendung der fünf Bewertungsmöglichkeiten wiesen 55,9 % der Wurzelfüllungen eine ideale Länge auf. Habib et. al. beschrieben 59,5 % und Kerekes 51,1 % als adäquat gefüllt, wobei sie abweichende Kategorisierungen verwendeten [178, 233]. In weiteren Studien, die ebenfalls auf einer unterschiedlichen Kriteriendefinition beruhten, lag der Anteil der Zähne mit annehmbarer Wurzelfülllänge bei 53,2 %, 63,7 %, 67,4 % und 89,7 % [86, 123, 183, 231]. Die Beurteilung in ideale (0-2 mm vom röntgenologischen Apex), zu kurze (über 2 mm vom radiologischen Apex) und zu lange (über den Apex hinaus) Wurzelfüllungen fand in mehreren Studien, die studentisch erbrachte Leistungen untersuchten, Verwendung [98, 113, 118-121, 184]. Zu Vergleichszwecken erfolgte zusätzlich eine Zusammentragung der hier verwendeten fünf Bewertungsmöglichkeiten in die gebräuchliche Dreistufenskala. Fong et. al. gelangten mit 72,2 % idealen, 23,3 % zu kurzen und 4,5 % zu langen Wurzelfüllungen zu ähnlichen Ergebnisse wie die hier vorliegende Studie mit 71,1 %, 24,1 % und 4,2 % [207]. Kelbauskas et. al. beschrieben einen deutlich höheren Anteil als ideal gefüllt, während Barrieshi-Nusair et. al. knapp 10 % weniger Zähne mit zufriedenstellender Fülllänge kategorisierten. Diese Diskrepanz beruhte darauf, dass weniger beziehungsweise mehr Zähne mit einer zu kurzen Obturation assoziiert waren. Der jeweilige Anteil zu lang gefüllter Zähne deckte sich mit demjenigen in dieser Studie. [184, 208]. Ausgehend von den Zähnen, deren Gesamtqualität als zufriedenstellend eingestuft wurde, beschrieben Lynch und Burke hinsichtlich der Länge 70 % als ideal, 21 % als zu kurz und 9 % als zu lang gefüllt [121].

Die Hinzuziehung der Zähne mit einem apikalen Puff zu den Zähnen mit idealer Wurzelfülllänge, erhöht den Anteil an akzeptablen Wurzelfüllungen auf 90 %. Aufgrund der

erschweren Gegenüberstellung mit internationalen Publikationen, in denen die üblich gebräuchliche Dreistufenskala Verwendung fand, wurde hierauf jedoch verzichtet.

### Homogenität

Die Homogenität war das von den Studierenden am besten umgesetzte Kriterium. 90,8 % der Obturationen wurden als lateral gut adaptiert und frei von Hohlräumen eingestuft. Auch hinsichtlich der Dichtigkeit deckten sich die hier präsentierten Ergebnisse mit den Ergebnissen Fongs et. al. [207]. Zähne mit einer inadäquaten Gesamtqualität zeigten nach Chakavathys und Moorthys Auffassung mit 65,33 % eine schlechte Dichtigkeit [11]. Kerekes und Tronstad verzeichneten mit 97 % eine bessere Umsetzung der Homogenität [123]. Der in der hier vorliegenden Studie registrierte Anteil homogen gefüllter Zähne war größer als bei Balto et. al., Barrieshi-Nusair et. al., Kelbauskaus et. al. und Habib et. al. mit 34,9 %, 72,6 %, 79,5 % und 50,8% [183, 184, 208, 233].

Hinsichtlich der Länge und der Homogenität sowie der daraus resultierenden Gesamtqualität deckten sich die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie mit früheren Veröffentlichungen [11, 207]. Eine zufriedenstellende Gesamtqualität lag in 64 % der Fälle vor. Die Ursachen hierfür sind vermutlich multifaktoriell [121]. Im ersten klinischen Kurs, der noch nicht am Patienten abgehalten wird, erfolgte die Lehre der Endodontie anhand obligatorischer theoretischer Lehrveranstaltungen sowie praktischer Übungen an sogenannten Endoblöcken und extrahierten Zähnen. Um die Situation möglichst realitätsgetreu darzustellen, wurden die extrahierten Zähne in Modellen am Phantomkopf inseriert. Nach Kursteilnahme inklusive mehrfacher Stuhlassistenz absolvierten die Studierenden Prüfungen sowohl in der Theorie als auch in der Praxis. Dies diente der Sicherung der theoretischen und praktischen Kenntnisse, bevor die Studenten und Studentinnen in den patientenbehandelnden klinischen Abschnitt aufrücken konnten. Während des fortlaufenden Behandlungskurses betreute ein/eine Allgemeinzahnarzt/-ärztin jeweils acht Studierende. Im Vergleich liegt das Betreuerverhältnis bei 1:8 in den Ländern Westeuropas und bei 1:6 in den Ländern Osteuropas, in Skandinavien bei 1:9 und im Vereinigten Königreich bei 1:12 [235]. Zudem bestand jederzeit die Möglichkeit, zusätzlich endodontische Fachleute zu konsultieren. Die Kursrichtlinien schrieben in Abhängigkeit vom belegten Semester vor, wie viele Zähne beziehungsweise Kanäle von jedem Studierenden endodontisch zu behandeln waren. Die Behandlung weitere Zähne über die Mindestanforderung hinaus wurde seitens der Ausbilder/-innen stets unterstützt, da mit

zunehmender Erfahrung während des Studentenkurses die postgraduale Tätigkeit begünstigt wird [236]. Nach endometrischer sowie röntgenologischer Längenverifizierung ermöglichte die technische Ausstattung den am Kurs Teilnehmenden nach Absprache mit dem/der jeweils zuständigen Assistenten/Assistentin verschiedene Techniken der Aufbereitung sowie der Obturation zu erlernen und anzuwenden. Zudem bestand jederzeit ein Behandlungsmikroskop zur Verfügung, dessen Einsatz die Behandlungseffizienz sowie die Qualität der Wurzelkanalbehandlung steigert [237]. Im Laufe der Semester fanden verpflichtende Vorlesungen auch zum Themenbereich Endodontie statt, die den Kenntnisstand vertiefen und erweitern sollten. Diese wurden in der Regel von einem/einer Endospezialisten/Endospezialistin referiert.

Üblicherweise wird in skandinavischen Ländern sowie in Nordamerika die Lehre und Betreuung der Endodontie von ausgebildeten Fachleuten durchgeführt. Die Verantwortung liegt, wie von der europäischen Richtlinie empfohlen, bei der dafür spezialisierten Abteilung. Im Gegensatz dazu ist in Europa für den endodontischen Bereich häufig die Abteilung der restaurativen Zahnheilkunde verantwortlich, die aber nicht grundsätzlich über einen Endospezialisten oder eine Endospezialistin verfügt [1, 235]. Allgemein Zahnärzte/-zahnärztinnen sind durchaus qualifiziert, Studierende hinsichtlich endodontischer Eingriffe zu betreuen, jedoch liegen Hinweise darauf vor, dass ausgebildete Endodontologen aufgrund ihrer Expertise und ihrer klinischen Erfahrung einen höheren Lehrstandard vermitteln können [235, 238]. Folglich wird eine Betreuung durch einen/eine Zahnarzt/-ärztin mit endodontologischer Qualifizierung angeraten [121, 195]. Ein angemessenes Zahlenverhältnis zwischen den Studierenden und den betreuenden Zahnärzten/-ärztinnen ist obligatorisch für eine adäquate zahnärztliche Ausbildung [235]. Dummers et. al. Studie deutete an, dass Behandlungsdefizite der Studierenden bei einem nicht ausgewogenen Verhältnis von den Verantwortlichen eher übersehen werden [235, 238]. Es liegen jedoch keine Vorgaben hinsichtlich des Verhältnisses vor [235]. Es kann davon ausgegangen werden, dass es zu einer Leistungssteigerung bei den Studierenden kommt, je geringer ihre Anzahl pro Betreuer/-in ist. Auch eine dauerhafte Betreuung durch ausgebildete Spezialisten und Spezialistinnen könnte dabei hilfreich sein. So geht aus der – seit dem Wintersemester 2021/22 – neu in Kraft getretenen Approbationsordnung für Zahnärzte und Zahnärztinnen (ZApprO) deutlich hervor, dass im Rahmen der Patientenbehandlung „die ausbildende Lehrkraft höchstens drei behandelnde Studierende gleichzeitig betreuen“ darf [239]. Ein weiterer potentieller Faktor ist die Zeit, die für das theoretische und praktische Erlernen der Endodontie vorgesehen ist [235].

Die übliche Herangehensweise zur Beurteilung der Gesamtqualität, die auch in der hier vorliegenden Studie angewendet wurde, erfolgt anhand röntgenologisch erfassbarer Parameter [183]. Neben der Tatsache, dass Röntgenbilder keinerlei Beurteilung über das Debridement des Wurzelkanalsystems, die Persistenz von Mikroorganismen sowie über die Qualität der Behandlung im Allgemeinen erlauben, wurden Faktoren wie Aufbereitungsfehler und behandlungsinterne Komplikationen, die potentiell mit der Gesamtqualität in Verbindung stehen, bei der Beurteilung nicht berücksichtigt [11, 89, 121, 168, 183, 197, 233]. Zudem wurden von den radiologisch erfassbaren Parametern – wie in bereits früher veröffentlichten Studien – nur die Länge und Homogenität eingeschlossen, während in anderen Studien, wie beispielsweise bei Balto et. al., zusätzlich der Taper integriert wurde [113, 118, 119, 183, 206]. Entsprechend den Empfehlungen der europäischen Gesellschaft für Endodontologie wurde den studentischen Behandelnden eine Vielfalt an zu behandelnden Zähnen geboten [1]. Sie hatten die Möglichkeit, jeden Zahntyp – Frontzahn, Eckzahn, Prämolare und Molar – endodontisch zu therapieren. Die Wurzelkanalkonfiguration und die Anatomie mehrwurzeliger Zähne ist komplexer [11]. Ein Einfluss dessen auf die Gesamtqualität, im Sinne einer Verminderung, ist durchaus gegeben. Dies geht beispielsweise aus Baltos et. al. Studie deutlich hervor, die mit zunehmender Position des Zahntyps nach distal einen geringeren Anteil gut gefüllter Zähne konstatierten. Bei Inzisiven waren es 38,9 % während es bei Molaren nur noch 6,1 % waren [183]. Die zuvor erfolgte Abwägung, ob ein Zahn für die endodontische Behandlung im Studentenkurs geeignet ist, wirkte der Verminderung der Gesamtqualität jedoch vermutlich entgegen.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Behandelnden um Studierende handelte. Daher ist ein enger Zusammenhang zwischen der Gesamtqualität und der geringen Erfahrung der Studenten und Studentinnen zu bedenken [233]. Die Verwendung eines standardisierten Behandlungsprotokolls erwies sich hinsichtlich der positiven Ergebnissteigerung als praktikabel [123].

## 5.2.2 Diskussion zur Erfolgsrate

Nachfolgende Aspekte sollten hinsichtlich der ermittelten Erfolgsrate und der mit ihr im Zusammenhang stehenden Parameter berücksichtigt werden:

### 5.2.2.1 Erfolgsrate und Veränderung des periapikalen Index zum Zeitpunkt der Recall-Untersuchung

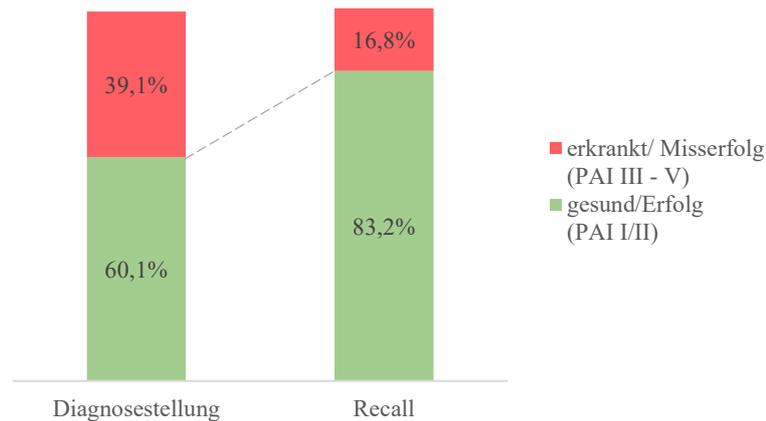


Abbildung 35: Erfolgsrate der endodontischen Behandlungen anhand des PAI

Bei einem durchschnittlichen Recall-Zeitraum von 33,2 Monate und einer Recall-Rate von 65 % wiesen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 83,2 % (n = 470) der endodontisch behandelten Zähne einen periapikalen Index von 1 oder 2 und somit einen Behandlungserfolg auf (siehe Abbildung 35). Der durchschnittliche PAI lag initial bei 2,5 und verbesserte sich um 0,68 auf 1,82. Insgesamt wurde bei 53,2 % (n = 301) der Zähne eine Verbesserung des PAI Grades registriert, 15,7 % (n = 89) waren mit einer Verschlechterung assoziiert und bei 31 % (n = 175) blieb der periapikale Zustand unverändert.

Im Vergleich dazu verzeichneten Penesis et. al., die den Behandlungserfolg in Abhängigkeit von der Anzahl der Behandlungssitzungen und bei gleicher Dichotomisierung der PAI Grade untersuchten, bei endodontisch behandelten Zähnen, die in mehreren Sitzungen therapiert wurden, eine 70 %ige Heilungsrate. Bei 80 % der behandelten Zähne wurde eine Verbesserung des PAI erreicht, 3 % zeigten eine Verschlechterung und bei 17 % blieb der PAI konstant. Initial lag der durchschnittliche PAI bei 3,53 und verbesserte sich um 1,23 auf einen durchschnittlichen periapikalen Index von 2,30 [199]. Ebenfalls unter gleicher Anwendung des PAI registrierten Trope et. al. eine 73,5 %ige Erfolgsrate und eine Verbesserung des durchschnittlichen PAI um 0,9 auf 2,1 [159]. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen,

dass die genannten Vergleichsstudien initial einen höheren Anteil erkrankter Zähne hatten [159, 199].

Andere Studien, die sich mit der Erfolgsrate und der Qualität studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen befassten, gaben teils ähnliche Ergebnisse an: im Rahmen der dreiteiligen Toronto-Studie lag die Erfolgsrate bei gleicher Verwendung des PAI und unter Hinzuziehung klinischer Parameter bei 81 %, 87 % und 83 % [7-9]. Auch die Untersuchung von Eriksen et. al. ergab bei einer Follow-up-Periode von drei Jahren und mit dem PAI als alleinigem erfolgsdefinierenden Parameter in 82 % der Fälle einen PAI von 1 oder 2. Diese Studie integrierte nur Zähne mit einem initialen PAI von 3, 4, oder 5 [179]. Die Häufigkeit eines PAI von kleiner oder gleich 2 und eine klinische Symptomfreiheit lag bei Polyzos et. al bei 72,8 % [112]. Der hohe Anteil erfolgreich behandelter Zähne könnte darin begründet sein, dass die Aufbereitung der Zähne in der hier vorliegenden Studie ausschließlich maschinell erfolgte – diese Vorgehensweise ist laut den Veröffentlichungen von Cheung und Liu mit einer höheren Erfolgsrate assoziiert. Zudem verzeichneten sie unter Verwendung manueller Handinstrumente häufiger Verfahrensfehler [240]. Sollten diese eine adäquate Kanaldesinfektion verhindern, könnte auch dies im Zusammenhang mit der Erfolgsrate von Bedeutung sein. [107]. Neben Cheung und Liu beschrieben auch Sonntag et. al. sowie Kleier und Averbach bei maschineller Instrumentierung eine höhere therapeutische Effizienz bei unerfahrenen Behandlern [241, 242]. Des Weiteren ist in diesem Zusammenhang auch der initial hohe Anteil an Zähnen mit einem PAI Grad 1 oder 2 von Relevanz.

In weiteren Studien, die sich anderer erfolgsdefinierender Parameter als des periapikalen Index bedienten und die sich ebenfalls mit dem Erfolg studentisch durchgeführter endodontischer Behandlungen befassten, variierte die Erfolgsquote zwischen 56 % und 95 % [86, 87, 125, 177, 180]. So registrieren beispielsweise Dammaschke et. al. nach zehn Jahren eine Erfolgsrate von 85,1 %, wobei sie diese mit der Überlebensrate gleichsetzten [157]. In diesem Zusammenhang wird abermals ersichtlich, dass aufgrund des Fehlens standardisierter Kriterien für die Bewertung des Erfolges ein direkter Vergleich der Ergebnisse schwierig ist und mit Vorsicht betrachtet werden muss [179].

### **5.2.2.2 Erfolgsrate in Abhängigkeit von beeinflussenden Parametern**

Für die Wurzelkanalbehandlung galten die präendodontischen Faktoren Geschlecht, das Vorliegen einer Diabeteserkrankung, der Zahntyp sowie die Diagnosestellung und der periapikale Index zu diesem Zeitpunkt als signifikant erfolgsbeeinflussend.

#### **Präendodontische Parameter**

##### Alter

Der Behandlungserfolg erwies sich als unabhängig vom Patientenalter. In allen Altersgruppen lag der Anteil erfolgreich therapierter Zähne bei über 80 %. Die präsentierten Ergebnisse deckten sich mit 15 weiteren Studien, die Ng et. al. in ihrer Meta-Analyse inkludierten [87, 91, 98-100, 125, 126, 160, 180, 205]. Es ist darauf hinzuweisen, dass in der hier vorliegenden Studie die Alterseinteilung der Patienten und Patientinnen in vier Gruppen erfolgte. Analog dazu untergliederten Smith et. al. ebenfalls in vier Gruppen, wobei die Altersspannweite variierte, während Swartz et. al. die Altersgruppen in Dekaden aufschlüsselten. Ein direkter Vergleich der Erfolgsraten der Studien ist deswegen nur begrenzt möglich [98, 99, 126].

##### Geschlecht

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten – bei einem höheren Anteil männlicher Patienten – eine knapp signifikant höhere Erfolgsrate bei Frauen als bei Männern. Sowohl Swartz et. al. als auch Chugal et. al. beschrieben mit 90,3 % beziehungsweise mit 82,2 % eine signifikant höhere Erfolgsquote bei den Patientinnen [85, 126]. In einer weiteren Studie war – bei einem insgesamt höheren Anteil weiblicher Patientinnen – die Behandlung bei männlichen Patienten um 5,9 % erfolgreicher als bei Frauen und trat als erfolgskorrelierender Parameter auf [99]. Weder aus den zuletzt genannten Studien noch aus der hier vorliegenden Studie konnte eine plausible Erklärung für dieses Ergebnis eruiert werden [99, 126]. Keine anderen Studien konnten einen signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied bei den Erfolgsraten endodontischer Behandlungen feststellen [4, 89, 125, 160, 162, 180, 205].

## Raucherstatus

Tabakkonsum hat sowohl auf die zellvermittelte als auch auf die humorale Immunantwort erhebliche Auswirkungen [243]. Neben der eingeschränkten Funktion von Leukozyten, Makrophagen, T-Zellen und der verminderten Produktion von Antikörpern induziert Rauchen eine verstärkte Entzündungsreaktion, vermindert die Sauerstoffversorgung des Blutes und beeinträchtigt die Gewebereparatur. Basierend darauf kann davon ausgegangen werden, dass Rauchen die periapikale Knochendestruktion begünstigt und die Heilungs- und Regenerationsprozesse nach einer endodontischen Behandlung beeinträchtigt. Folglich ist bei Rauchern eine verminderte Erfolgsrate und eine erhöhte Prävalenz apikaler Läsionen zu erwarten [211]. Die internationale Literatur zeigt sich in diesem Aspekt jedoch ambivalent [244].

Von allen Patienten und Patientinnen, die angaben, regelmäßig zu rauchen, wiesen 77,3 % der therapierten Zähne einen PAI von 1 oder 2 auf, bei Nichtrauchern waren es 85,9 %. Der Einfluss des Rauchens erwies sich im Rahmen der hier vorliegenden Studie, entgegen der zuvor beschriebenen Annahme, im Zusammenhang mit dem Behandlungserfolg als vernachlässigbar. Es ist darauf hinzuweisen, dass keine Erhebungen über die pro Tag konsumierte Menge an Nikotin durchgeführt wurden, so dass ein Zusammenhang mit dem Behandlungserfolg denkbar ist. Die hier präsentierten Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen von Marending et. al. sowie von Rodriguez et. al., die zur radiologischen Erfolgsbeurteilung ebenfalls den periapikalen Index hinzuzogen [161, 245]. Auch Azim et. al. teilten diese Ansicht und konstatierten bei Rauchern in 74,2 % und bei Nichtrauchern in 82,4 % der Fälle ein positives Ergebnis [166]. Im Gegensatz zu diesen Erkenntnissen äußerten sich Doyle et. al., die durchaus eine Signifikanz zwischen dem Raucherstatus und dem endodontischen Behandlungserfolg feststellen konnten [163]. Auch Kirkevang et. al. verzeichneten eine erhöhte Prävalenz persistierender apikaler Läsionen bei Rauchern im Vergleich zu Nichtrauchern [211, 246]. Wegen der literarischen Widersprüchlichkeit sind weitere Längsstudien unabdinglich, um in diesem Zusammenhang eine eindeutige Schlussfolgerung ziehen zu können [244].

## Diabetes

Segura-Egea et. al. beschrieben bei der Zusammenführung mehrerer Studien, die das Behandlungsergebnis über das Fehlen beziehungsweise das Vorhandensein einer apikalen Läsion bei wurzelkanalbehandelten Zähnen definierten, den Diabetes als signifikanten

Einflussfaktor. Bei 56,2 % der endodontisch behandelten Zähne von Diabetikern lag eine apikale Läsion vor, wohingegen der Wert bei Nicht-Diabetikern bei 43,8 % lag. Bei Betrachtung der einzelnen Studien war der Zusammenhang zwischen einer Diabeteserkrankung und dem endodontischen Behandlungserfolg nicht übereinstimmend [211].

Britto et. al. konnten unter Verwendung der Strindberg-Kriterien zur radiologischen Erfolgsbeurteilung keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Behandlungserfolg bei Diabetikern und bei Nicht-Diabetikern feststellen. Sie berichteten jedoch, dass Männer mit Diabetes Typ 2 postendodontisch häufiger eine persistierende Restläsion auswiesen [247]. Auch Ferreira et. al. sowie Fouad und Burleson beschrieben keine signifikante Korrelation [248, 249]. Sowohl bei insulinabhängigen und insulinunabhängigen Diabetikern als auch bei Nicht-Diabetikern registrierten Fouad und Burleson einen Behandlungserfolg zwischen 62 % und 66 %. Lediglich bei isolierter Betrachtung aller Zähne, die präendodontisch eine Läsion aufwiesen, ergab sich eine signifikant niedrigere Erfolgsrate bei Diabetikern [248].

Nach den Untersuchungen von Ferreira et. al. gab es weder bei der Beurteilung des periapikalen Status anhand des PAI noch bei der Erfolgsbewertung signifikante Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Gruppen. Sie bezogen keine eindeutige Stellung dazu, ob Diabetes mellitus den endodontischen Behandlungserfolg beeinflusst [249]. Im Gegensatz dazu verzeichneten Laukkanen et. al. bei einer zu der hier vorliegenden Studie analogen Verwendung des PAI bei Diabetikern eine Erfolgsrate von 73,2 % und beschrieben das Ergebnis als signifikant niedriger als bei Nicht-Diabetikern. Dies galt insbesondere bei Zähnen, die präendodontisch mit einer apikalen Parodontitis assoziiert waren [127]. Die Untersuchungen von López-López et. al. deuteten darauf hin, dass endodontisch behandelte Zähne bei Patienten und Patientinnen, die an Diabetes Typ 2 erkrankt waren, signifikant öfter einen PAI von 3 oder höher zeigten [250]. Auch Falk et. al. verzeichneten bei Diabetikern – in der Gruppe der sogenannten Langzeitdiabetiker – häufiger eine periapikale Läsion als bei Nicht-Diabetikern [251].

Infolge multipler biologischer Mechanismen führt Diabetes mellitus allgemein zu einer erhöhten Anfälligkeit für Infektionen, beeinträchtigt die Immunantwort, vermindert die Geweberegeneration und verzögert die Wundheilung. Daher ist im Zusammenhang mit wurzelkanalbehandelten Zähnen eine erhöhte Prävalenz persistierender apikaler Parodontitiden zu vermuten [211]. Auch aus der hier vorliegenden Studie ging Diabetes als signifikant beeinflussender Erfolgsparameter hervor: Alle endodontisch behandelten Zähne von Diabetikern waren mit einem Therapieerfolg assoziiert. Bender et. al. beschrieben die Ausheilung apikaler Läsionen bei Patienten und Patientinnen mit gut eingestelltem Diabetes als kongruent zu derjenigen von Nicht-Diabetikern [252]. Weitere Untersuchungen beschreiben

eine signifikante Korrelation zwischen dem glykierten Hämoglobinspiegel (HbA<sub>1</sub>) und dem periapikalen Status beziehungsweise eine geringere Ausheilung apikaler Läsionen beim Vorliegen eines hohen Glucosespiegels [253, 254]. Vor diesem Hintergrund wird die Relevanz eines gut eingestellten Diabetes im Zusammenhang mit der endodontischen Therapie deutlich. Eine nachvollziehbare Erklärung für die hohe Erfolgsrate ist, dass die in der Studie inkludierten Patienten und Patientinnen, die wissentlich an einer diabetischen Stoffwechselstörung erkrankt waren, diese konstant unter ärztlicher Betreuung kontrollieren ließen. Um diesen Umstand verifizieren zu können, wäre jedoch der labordiagnostische Parameter HbA<sub>1</sub> notwendig gewesen. Darüber hinaus ist ein abweichendes Ergebnis bei der Differenzierung zwischen den Diabetes Typen nicht auszuschließen. Es liegen Studien vor, die ausschließlich an Diabetes Typ 2 erkrankte Patienten und Patientinnen inkludierten [149, 250]. Ein weiterer Aspekt, auf den in diesem Zusammenhang hingewiesen werden muss, ist die Tatsache, dass die festgestellte signifikante Assoziation zwischen dem Diabetes und dem periapikalen Zustand keinen Nachweis für einen kausalen Zusammenhang liefert. Dieser liegt erst nach dem Durchlaufen der Kausalitätskriterien vor, wobei eine Variable (Diabetes) nachweislich zur Begünstigung der anderen (apikale Parodontitis) beiträgt und die Reduktion der Krankheit mit der Beseitigung der anderen Variablen einhergeht [255, 256].

Es liegen Hinweise vor, die eine Diabeteserkrankung mit einer verzögerten Heilung, einer erhöhten Prävalenz persistierender apikaler Parodontitiden sowie mit einer verminderten Erfolgsrate in Verbindung bringen [211, 247, 250, 251]. Bei diesen Patienten und Patientinnen sollte eine längere Follow-up-Periode in Betracht gezogen werden [166]. Die mangelnde Übereinstimmung der hier präsentierten Ergebnisse mit bisher publizierten Daten kann unter Umständen darin begründet sein, dass im Rahmen der hier vorliegenden Studien keine Informationen hinsichtlich wie gut der Diabetes eingestellt war, erhoben wurden.

### Herzerkrankung

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer vorliegenden Herzerkrankung und dem endodontischen Therapieerfolg verzeichnet werden. Bei 84,2 % der wurzelkanalbehandelten Zähne von Patienten und Patientinnen, die an einer Herzerkrankung litten, wurde ein Behandlungserfolg verzeichnet, bei gesunden Behandelten waren es 82,9 %. Die beschriebenen Daten stimmten mit den Ergebnissen von Laukkanen et. al. überein. Sie konstatierten bei Behandelten mit einer kardiovaskulären Erkrankung eine 87,9%ige und bei gesunden Behandelten eine 85,6%ige Erfolgsquote [127].

Unter Verwendung des periapikalen Index konnten auch Segura-Egea et. al. keinen bedeutenden Zusammenhang zwischen Hypertonie und dem periapikalen Zustand wurzelkanalbehandelter Zähne feststellen [257]. Eine weitere Studie konnte in Anbetracht mehrerer verschiedener kardiovaskulärer Krankheitsbilder keinen Unterschied hinsichtlich des Behandlungsergebnisses zwischen erkrankten und nicht erkrankten Patienten und Patientinnen wahrnehmen [127, 258]. Widersprüchlich dazu äußerten sich Aminoshariae et. al. in ihrer Übersichtsveröffentlichung, die das Vorliegen einer kardiovaskulären Erkrankung durchaus mit einem negativen endodontischen Behandlungsergebnis in Beziehung setzten [259]. Frühere Studien untersuchten ebenfalls den Therapieerfolg in Abhängigkeit koronarer Herzkrankheit beziehungsweise Hypertonie. Diese Studien setzten jedoch die Erfolgsrate mit der Überlebensrate unabhängig vom periapikalen Status gleich [138, 260, 261]. Dabei beschrieben Mindiola et. al. und Wang et. al. das Vorliegen einer der genannten Krankheiten als erfolgsbeeinflussenden Parameter [260, 261]. Die Gegenüberstellung mit den zuvor beschriebenen Ergebnissen ist aufgrund der divergierenden Erfolgsdefinition sehr kritisch zu betrachten [127]. Zudem ist der Vergleich der Behandlungsergebnisse aufgrund unterschiedlicher untersuchter Krankheitsbilder limitiert. So wurde in der hier vorliegenden Studie nicht zwischen kardiovaskulären Erkrankungen – Hypertonie, koronare Herzerkrankung, Herzklappenerkrankung – differenziert, während beispielsweise Laukkanen et. al. lediglich an Hypertonie erkrankte Patienten und Patientinnen in ihre Studie einbezogen [127]. Ein abweichendes Ergebnis bei isolierter Betrachtung der einzelnen Krankheiten analog zu Wang et. al., die Hypertonie und koronare Herzkrankheit getrennt untersuchten, ist nicht auszuschließen [261].

Kardiovaskuläre Erkrankungen stellen systemische Krankheitsbilder dar, die mit der Beeinträchtigung des angeborenen Immunsystems sowie mit der Veränderung der Wundheilung in Verbindung gebracht werden [211]. Daher liegt die Vermutung nahe, dass apikale Parodontitiden mit kardiovaskulären Krankheitsbildern korrelieren, ähnlich wie Parodontalerkrankungen [127, 262]. Doch wie beim Diabetes mellitus geht auch hier ein Zusammenhang zwischen kardiovaskulären Erkrankungen und endodontischen Behandlungsergebnissen weder aus der internationalen Literatur noch aus dieser Studie eindeutig hervor [259].

## Zahntyp

Analog zu den Veröffentlichungen von Swartz et. al., von Benenati und Khajotia als auch von Jokinen et. al. erwies sich auch in der hier vorliegenden Studie der Zahntyp im Zusammenhang mit dem Behandlungserfolg als signifikant [4, 126, 180]. Prämolaren wurden mit 90,4 % am häufigsten erfolgreich behandelt. Am seltensten kam ein PAI von 1 oder 2 bei Eckzähnen (78,7 %) vor, gefolgt von Molaren mit 79,4 %. Die niedrigere Erfolgsrate von Molaren kann durch die erhöhte Komplexität des Wurzelkanalsystems und durch die variierende Wurzelmorphologie erklärt werden [180]. Auch die deutlich höhere Fallzahl der Molaren ist nicht außer Acht zu lassen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die zuvor genannten Autoren die Erfolgsrate in Abhängigkeit vom Zahntyp unter Verwendung einer präziseren Kategorisierung untersuchten, während in der hier vorliegenden Studie die Ergebnisse von Zähnen desselben morphologischen Typs, ungeachtet des Kiefers, zusammengefasst wurden [4, 126, 180]. Ein abweichendes Ergebnis ist bei der Anwendung der präziseren Unterteilung wie in den genannten Studien nicht auszuschließen. Den höchsten Behandlungserfolg verzeichneten Swartz et. al. mit 92,31 % bei Eckzähnen im Unterkiefer und bei den zweiten Prämolaren, gefolgt von den ersten Prämolaren im Oberkiefer. Die niedrigste Erfolgsrate verzeichneten sie mit 81,48 % bei Molaren [126]. Nach Benenatis und Khajotias Untersuchungen gingen Frontzähne im Oberkiefer am häufigsten einen Behandlungserfolg einher. Die Erfolgsrate sowohl erfolgreich als auch annehmbar therapierter Prämolaren lag im Durchschnitt bei 91,7 % versus 90,4 % in der hier vorliegenden Studie. Bei alleiniger Betrachtung erfolgreich behandelter Prämolaren verzeichneten sie eine durchschnittliche Erfolgsquote von 66,3 % [180].

Entgegen den bisher präsentierten Ergebnissen beschrieben Kerekes und Tronstad den Zahntyp nicht als signifikanten Erfolgsparameter [123]. Diese Ansicht teilten weitere Autoren [185, 205]. Ng et. al. beschrieben in ihrer Meta-Analyse die durchschnittliche Erfolgsrate der verschiedenen Zahntypen als geringfügig unterschiedlich, wobei sowohl unter Anwendung strenger als auch weniger strenger Kriterien die Prämolaren im Unterkiefer die höchste und die Molaren im Unterkiefer die niedrigste Erfolgsquote aufwiesen [98].

## Diagnosestellung und der präendodontische periapikale Zustand (initialer PAI)

In dieser Studie erwiesen sich die Diagnosestellung sowie der initiale periapikale Zustand des Zahnes – zwei Faktoren, die in einem gewissen Ausmaß miteinander korrelieren – hoch signifikant erfolgsbeeinflussende Parameter. Hinsichtlich der Diagnosestellung konnte

Folgendes eruiert werden: Zähne, deren Diagnose mit einer vitalen Pulpa beziehungsweise Zähne deren Krankheitsbild mit erhöhter Wahrscheinlichkeit mit einer vitalen Pulpa oder einer Restvitalität einhergehen wiesen eine höhere Erfolgsrate auf als diejenigen, die mit einer apikalen Läsion assoziiert waren.

Der Behandlungserfolg kann anhand der Vitalität prognostiziert werden, da diese als Indiz für das Vorliegen einer periapikalen Läsion angesehen werden kann [160]. In Kenntnis dessen untersuchten weitere Studien in diesem Zusammenhang primär den pulpalen Status im Hinblick auf die Vitalität. Der Vergleich dieser Studienergebnisse mit den hier vorgestellten Ergebnissen ist nur eingeschränkt möglich. [99, 100, 166]. Sjögren et. al. beschrieben, basierend auf ihren Ergebnissen, den Behandlungserfolg für Zähne ohne apikale Veränderungen als signifikant höher als für apikal bereits vorerkrankte Zähne. Dabei verzeichneten sie bei Zähnen mit vitaler Pulpa eine 96%ige und bei Zähnen mit einer Pulpanekrose ohne Aufhellung eine 100%ige Erfolgsrate. Zähne mit einer Läsion erreichten eine niedrigere Erfolgsquote [87]. Eine weitere Studie zeigte, dass Zähne mit einer apikalen Osteolyse eine niedrigere Erfolgchance hatten [160].

Das Vorliegen einer präendodontischen periapikalen Läsion, die als Maß der Infektion angesehen werden kann, gilt als der prognostisch relevanteste Faktor [98, 127, 160]. In der Literatur ist hinsichtlich der Korrelation eine große Übereinstimmung festzustellen. Dabei wurde in der Regel zwischen dem Vorliegen und dem Fehlen einer apikalen Läsion differenziert [85, 87, 89, 100, 112, 127, 136, 166]. Strindberg verzeichnete dabei eine 20,76%ige Differenz bei den Erfolgsraten [91, 140]. Zu Vergleichszwecken wurden die jeweiligen PAI Grade entsprechend der An- und Abwesenheit zusammengetragen. 88,2 % derjenigen Zähne, die zum Behandlungsbeginn keine apikalen Veränderungen aufwiesen, konnten erfolgreich therapiert werden, während der Therapieerfolg bei initial bereits vorhandener Pathologie bei 75,6 % lag. Nelson et. al. beschrieben mit einer 91%igen Erfolgsrate bei intaktem periapikalen Gewebe versus 72,2 % ähnliche Ergebnisse [100]. Bei Abwesenheit einer periapikalen Läsion verzeichneten Laukkanen et. al. mit 94,5 % etwas häufiger erfolgreiche Behandlungen, während es bei Vorliegen einer Läsion 77,3 % waren [127]. Weitere Studien belegten diese Ergebnisse – unter anderen die Studie von Marending et. al., die diese ebenfalls unter Verwendung des dichotomisierten PAI durchführten [8, 85, 87, 112, 123, 138, 140, 161]. Aus Hoskinsons et. al. Untersuchungen ergab sich, dass das Ausmaß des negativen Effekts der apikalen Läsion zusätzlich von der Größe der Läsion beeinflusst wird, die sie neben dem pulpalen Status und dem Vorhandensein als signifikant beschrieben [160]. Aus einer weiteren

Studie wurde dieser Zusammenhang ersichtlich: Dabei wurden 87,9 % der Zähne ohne apikale Aufhellung erfolgreich therapiert. In Anwesenheit einer Läsion von kleiner oder gleich 5 mm waren 76,9 % der Behandlungen erfolgreich, bei einer Läsion von größer als 5 mm waren es nur noch 38,5 %. Insgesamt wiesen 67,3 % der Zähne, die initial periapikal erkrankt waren, nach der Therapie einen gesunden periapikalen Zustand auf [136]. Die Erfassung der Läsionsgröße hätte vermutlich eine genauere Differenzierung bei den erkrankten PAI Graden 3, 4 und 5 ermöglicht. Da die Läsionsgröße jedoch nicht dokumentiert wurde, kann diesbezüglich keine Stellung bezogen werden. Eine dieser Annahme widersprechende Stellungnahme konnte der Studie von Azim et. al. entnommen werden, die keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Behandlungserfolg und dem Vorhandensein einer Läsion feststellen konnten [166].

Trotz der unterschiedlichen Herangehensweise dieser Studie im Vergleich zu anderen lässt sich hinsichtlich der Diagnosestellung sowie hinsichtlich des präendodontischen periapikalen Zustandes im Zusammenhang mit dem Behandlungserfolg zusammenfassend konstatieren, dass die Wahrscheinlichkeit eines positiven Behandlungsergebnisses bei einer frühzeitigen Intervention höher ist [100].

## **Behandlungsinterne Parameter**

### Gesamtqualität

Im Zuge ihrer Meta-Analyse konstatierten Ng et. al., dass neben dem präendodontischen periapikalen Zustand sowie der postendodontischen koronalen Restauration auch die Qualität der Wurzelkanalfüllung hinsichtlich der Länge und Homogenität von höchster Relevanz für den Behandlungserfolg sind [98]. Dies konnte hinsichtlich der Gesamtqualität – bemessen an der Länge und Homogenität der Wurzelfüllung – anhand der Daten der hier vorliegenden Studie nicht gestützt werden. Bei guter Gesamtqualität wurde bei 84,9 % der Zähne ein gesunder PAI erreicht, bei unzureichender Gesamtqualität waren es 80 %. Heling et. al. konnten mit einer Erfolgsrate von 63,9 % bei zufriedenstellenden Obturationen keinen relevanten Zusammenhang feststellen [220]. Es liegen jedoch mehrere Studien vor, die dieses Resultat widerlegen [112, 161, 194, 197]. Bei übereinstimmender Kriteriendefinition berichteten Polyzos et. al. von einer erfolgsbeeinflussenden Korrelation. Ausgehend von ähnlichen Ergebnissen bei Zähnen mit zufriedenstellender Gesamtqualität, die entweder eine apikale

Läsion oder keine apikale Läsion aufwiesen, konstatierten sie, dass ungeachtet des präendodontischen Zustandes die Gesamtqualität mit dem Behandlungsergebnis korreliert [112]. Neben dem Zustand des Immunsystems und dem initialen PAI beschrieben Marending et. al. auch die Qualität der Wurzelfüllung als signifikant [161]. Touré et. al. stellten bei gutem technischen Standard in 26,2 % der Fälle einen pathologischen periapikalen Zustand fest, bei schlechter Qualität waren es 62,5 %. Die präsentierten Ergebnisse der hier vorliegenden Studie berücksichtigten hinsichtlich der Qualität lediglich die auf dem Röntgenbild ersichtlichen Faktoren. Andere Qualitätsparameter der Behandlung, die potentiell von Relevanz sind, wie beispielsweise die Desinfektion des Wurzelkanalsystems, wurden nicht beachtet [197]. Die Persistenz von Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem und im periapikalen Gewebe können das endodontische Behandlungsergebnis gefährden [101]. Unter der Voraussetzung, dass das Wurzelkanalsystem frei von Bakterien ist, ist der Behandlungserfolg unabhängig von der Qualität der Wurzelfüllung. Beim Verbleib von Bakterien jedoch liegt eine Korrelation zwischen dem Behandlungserfolg und der Qualität vor. Dies ging aus der Studie von Fabricius et. al. hervor [263]. Auch Sabeti et. al. beschrieben unter anderem die Elimination von Mikroorganismen als maßgeblich für den Behandlungserfolg [264]. Nichts desto trotz kann unter anderem die röntgenologische Qualitätsbeurteilung als Maß für die Vermeidung einer Rekontamination angesehen werden beziehungsweise da die röntgenologische Erscheinung des Periapex einen Rückschluss auf die bakterielle Belastung des Wurzelkanalsystems erlaubt, ist eine Korrelation zwischen der Gesamtqualität der Wurzelfüllung und dem Behandlungserfolg trotz widersprüchlicher Ergebnisse durchaus in Betracht zu ziehen [98, 161, 197].

### Länge

Eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung geht mit einer dicht obturierten Wurzelkanalfüllung, die maximal bis zu 2 mm vom röntgenologischen Apex entfernt ist, einher [198, 233]. In Anbetracht dessen beschrieben mehreren Studien die hohe Relevanz einer adäquaten Wurzelfülllänge für ein positives endodontisches Behandlungsergebnis [4, 87, 99, 100, 124, 126, 166, 197]. So verzeichneten beispielsweise Smith et. al. unter Verwendung der gleichen Kriteriendefinition, eine signifikant höhere Erfolgsrate bei Zähnen mit idealer Wurzelfülllänge als bei Zähnen mit zu kurzer beziehungsweise zu langer Obturation [99]. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie jedoch stützten frühere Veröffentlichungen, die auf das Gegenteil hindeuteten [6, 160, 220, 265, 266]. Die Wurzelfülllänge erwies sich nicht als signifikant beeinflussender Erfolgsparameter. Aus der Zusammentragung in die Dreistufenskala wurde

ersichtlich, dass Zähne mit idealer Wurzelfülllänge am häufigsten erfolgreich behandelt wurden, zu lang obturierte Zähne zeigten im Vergleich zu den zu kurz gefüllten Zähnen häufiger einen PAI von 1 oder 2. Der hohe Behandlungsstandard – annähernd drei Viertel der Zähne wiesen eine ideale Wurzelfülllänge auf – könnte diese Diskrepanz rechtfertigen [160]. Friedmann et. al. beschrieben die apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung als nicht wesentlich. Beim Zusammentragen der zu kurzen und zu langen Obturationen zu inadäquaten Füllungen ergaben sich jedoch gegenüber Wurzelfüllungen mit adäquater Länge signifikante Unterschiede [89]. Auch Halse und Molven stellten keine ausschlaggebenden Unterschiede fest, erst bei einer Extrusion von über 2 mm in das periapikale Gewebe schien ein Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und dem Behandlungserfolg vorzuliegen [267].

Es ist anzunehmen, dass die Aufbereitung und die dreidimensionale Obturation bis 2 mm vor den röntgenologischen Apex – also bis zur apikalen Konstruktion, dem idealen Endpunkt der Wurzelkanalfüllung – eine effektive Dekontamination und Ausformung des Wurzelkanalsystems bewirken und folglich den Therapieerfolg begünstigen [49, 265]. Im Falle extrudierten Füllungsmaterials ist gegebenenfalls mit einer verzögerten Heilung oder gar mit einem Behandlungsmisserfolg zu rechnen [98, 166]. Der Zusammenhang zwischen überpresstem Wurzelfüllmaterial und endodontischen Misserfolgen könnte darin begründet sein, dass der Extrusion von Wurzelfüllmaterial oft eine Überinstrumentierung im Rahmen der Kanalaufbereitung vorausgeht, bei der es mit erhöhter Wahrscheinlichkeit zur Inokulation des periapikalen Gewebes kommen kann [87, 105, 177]. Aminoshariae und Kulild beschrieben in ihrer Meta-Analyse bei Wurzelkanalfüllungen mit überpressten Sealer ein 32 %iges höheres Risiko von Therapiemisserfolgen. Dies könnte ihrer Auffassung nach unter anderem darin begründet sein, dass der überpresste Sealer zu einer Herabsetzung des Immunsystems führt oder die Zytotoxizität des Sealers den Heilungsprozess beeinflusst [268].

Eine plausible Erklärung für die dennoch hohe Erfolgsrate der Zähne, die zu lang abgefüllt wurden, ist vermutlich das geringe Volumen an dem in das periapikale Gewebe extrudierten Material [5]. Zudem liegen Hinweise vor, die darauf hindeuten, dass auch nach Behandlungsabschluss überpresster Sealer abgebaut wird [266]. Aus der Publikation von Ricucci et. al. ging zudem hervor, dass das Behandlungsergebnis in Abhängigkeit der extrudierten Sealerart nicht signifikant beeinflusst wird. Ausschlaggebend für den Behandlungserfolg sei die An- beziehungsweise Abwesenheit einer apikalen Läsion [269].

In Anbetracht dessen sowie unter der Berücksichtigung der hier präsentierten Ergebnisse, wäre es durchaus denkbar die Zähne mit einem apikalen Puff bei der Zusammentagung der Feinskalierung zu den Zähnen mit idealer Wurzelfülllänge hinzuzuziehen, da Zähne mit einem

apikalen Puff (bei einer insgesamt höheren Fallzahl) genauso häufig als erfolgreich therapiert eingestuft wurden wie diejenigen Zähne, deren Füllung als 1-2 mm zu kurz galt.

### Homogenität

Neben der Länge hatte in dieser Studie auch die Homogenität der Wurzelfüllung weder einen direkten noch einen indirekten ausschlaggebenden Einfluss auf den Therapieerfolg. 76,1 % der inhomogen obturierten Zähne hatten einen PAI von 1 oder 2. Vergleichsweise dazu waren es knapp 84 % bei den dicht kompaktierten Zähnen. Bei Betrachtung des technischen Standards der Wurzelkanalfüllung, gemessen am Vorhandensein von Hohlräumen – also der Dichtigkeit – konnten Sjögren et. al. bei initial behandelten Zähnen mit Pulpanekrose keinen signifikanten Zusammenhang hinsichtlich des Behandlungserfolges feststellen. Bei inadäquat gefüllten Zähnen betrug der Behandlungserfolg 82 %, wohingegen er bei adäquat gefüllten Zähnen um 5 % höher lag. [87]. Aus Helings et. al. Veröffentlichung ging Ähnliches hervor. Sie verzeichneten eine annähernd 70%ige Erfolgsrate bei Inhomogenität [220]. In einer weiteren Studie wurde eine 88%ige Erfolgsrate bei homogenen Füllungen festgestellt, bei inhomogenen Füllungen betrug sie 62 %. Hinsichtlich der Signifikanz wurde keine Stellung bezogen [178]. Entgegen dieser Ansicht äußerten sich sowohl Nelson, Polyzos et. al. als auch Azim et. al. [100, 112, 166]. Letztere verzeichneten bei undichten Wurzelfüllungen lediglich eine 12,5%ige Erfolgsrate, im Gegensatz dazu betrug sie bei homogenen Füllungen 83,1 %. Sie beschrieben das Verhältnis zwischen inhomogenen Wurzelfüllungen und dem Behandlungsmisserfolg als signifikant [166]. Ribeiro et. al. konnten im Rahmen ihrer Meta-Analyse keine eindeutige Korrelation zwischen der Wurzelfüllichte und dem Behandlungserfolg finden. Die erhöhte Wahrscheinlichkeit eines negativen Therapieergebnisses bei inhomogen gefüllten Zähnen ist durchaus gegeben [113]. So kann der Behandlungsmisserfolg bei undichten Obturationen auf Mikroleakage entlang der Wurzelfüllung zurückzuführen sein [270, 271].

Ähnlich wie in Helings et. al. sowie in Sjögrens et. al. Studien ist auch in Anbetracht der hier präsentierten Daten nicht auszuschließen, dass der Anteil undichter Wurzelkanalfüllungen mit 9,2 % zu gering war, um eine Signifikanz zu ermitteln [87, 98, 220].

## Fülltechnik

Es ist davon auszugehen, dass regelkonforme Obturationstechniken bei zuvor erfolgter adäquater Dekontamination und Aufbereitung des Wurzelkanalsystems minimale bis keine Auswirkungen auf das Behandlungsergebnis haben [272-274]. Die Ergebnisse dieser Studie, bei der unter anderem das Behandlungsergebnis in Abhängigkeit von der angewandten Fülltechnik – laterale sowie warm-vertikale Obturation und Thermafil – untersucht wurde, stützten diese Annahme. Die laterale Kondensation erwies sich als Technik mit einfacher Handhabung und mit konstant guten Ergebnissen. Peak et. al. beschrieben die Erfolgsrate lateral kompaktierter Zähne im Vergleich zu anderen Füllmethoden als am höchsten [265].

Warm-vertikale Guttaperchaobturationen ermöglichen die Applikation dreidimensionaler dichter Wurzelkanalfüllungen, mit denen Kanalunregelmäßigkeiten im Vergleich zu festem Guttapercha besser aufzufüllen sind [275, 276]. Die Erfolgsquote warm-vertikal obturierter Zähne lag bei 87,8 % versus 80,5 % bei lateral kompaktierten und 83,8 % bei mit Thermafil obturierten Zähnen. Bei keiner der Fülltechniken konnte eine erfolgsrelevante Korrelation eruiert werden. Auch Aqrabawi stellte beim Vergleich lateral kompaktierter mit warm-vertikal obturierter Zähnen keine signifikanten Unterschiede fest. Wurde jedoch der präendodontische periapikale Zustand einbezogen, erwies sich die Erfolgsrate bei der Verwendung der warm-vertikalen Obturationstechnik als signifikant höher [274]. Im Rahmen der Toronto-Studie stellte sich die warm-vertikale Füllmethode als erfolgskorrelierender Parameter heraus [150, 174].

Das Behandlungsergebnis unter Verwendung von Thermafil und der Vergleich mit anderen Füllmethoden ist bisher wenig untersucht. Einige wenige klinische Studien diesbezüglich sind vorhanden [174, 272, 277, 278]. Aus den Untersuchungen von Chu et. al. geht hervor, dass kunststoffträgerbasiertes Thermafil eine gute Alternative zur konventionellen lateralen Kompaktion darstellt. Mit einer 81%igen und 79%igen Erfolgsquote bei mit Thermafil obturierter und bei lateral kompaktierter Zähne konnte keine nennenswerte Differenz erkannt werden [277]. Neben Chu et. al. kamen auch Hale et. al. zu ähnlichen Ergebnissen [272]. Unter Verwendung des periapikalen Index konnten Priani et. al., die sowohl die Erfolgsrate als auch die Überlebensrate Thermafil obturierter Zähne dokumentierten, bei 85 % einen gesunden PAI feststellen [174]. Die beschriebenen Daten deckten sich mit den Daten der hier vorliegenden Studie. Eine Erklärung für die ähnlichen Ergebnisse lateraler Kompaktion und Thermafil könnte darin begründet sein, dass die Studenten und Studentinnen das Verfahren der lateralen

Kompaktion vorab am Phantomkopf erlernen und üben und die trägerbasierte Fülltechnik auch bei unerfahreneren Behandelnden aufgrund der vereinfachten Applikation ein gutes Behandlungsergebnis begünstigt [174]. Eine in vitro Studie untersuchte die drei Fülltechniken hinsichtlich der apikalen Versiegelungskapazität und beschrieb Thermafil gegenüber lateralen Kompaktionen und warm-vertikalen Obturationen (Obtrua II) als überlegen [279].

Nach ausführlicher Recherche konnten keine weiteren Studien, die den Behandlungserfolg in Abhängigkeit von den hier untersuchten Fülltechniken untersuchten und gegenüberstellten, ausfindig gemacht werden.

## **Postendodontische Parameter**

### Koronale Versorgung

Das sogenannte „coronal leakage“, das aus einer insuffizienten koronalen Restauration resultiert, kann für die Reinfektion des Wurzelkanalsystems einen Risikofaktor darstellen [97, 127]. Folglich ist die postendodontische koronale Versorgung ein weiterer und vielfach untersuchten Parameter im Zusammenhang mit der Erfolgsrate, wobei divergierende Ansichten auftraten [86, 125, 126, 129, 160, 194]. Basierend auf einer Meta-Analyse lag die Erfolgsrate adäquat restaurierter Zähne – unter Berücksichtigung strengerer oder weniger strenger Bewertungskriterien – um 10 % beziehungsweise 18 % höher als bei unzureichender koronaler Versorgung [98]. Ricucci et. al. hingegen konstatierten, dass die Problematik des coronal leakage bei adäquater Wurzelkanalfüllung vernachlässigbar gering ist. Die postendodontische bakteriendichte koronale Versorgung sei als gerechtfertigt anzusehen [280].

Zur Beurteilung der koronalen Versorgung bedarf es einer ausführlichen klinischen Untersuchung, da die konventionelle Bildgebung das Risiko birgt, eine potentiell unzulängliche Restauration als adäquat einzustufen [45]. Die Qualität der postendodontischen Versorgung und deren Einfluss auf das Behandlungsergebnis wurden im Rahmen dieser Studie aufgrund unzureichender klinischer Befunde nicht untersucht. Dies kann als Limitation der Studie angesehen werden [127].

### 5.2.3 Überlebenswahrscheinlichkeit und ihre Korrelation mit beeinflussenden Parametern

89,3 % der Zähne, die nachuntersucht wurden, waren zum Zeitpunkt der Recalluntersuchung in situ (Überleben). Bei 9,5 % der Zähne musste in Form einer Extraktion interveniert werden, in den verbleibenden 1,3 % der Fälle konnte aus anderweitigen Gründen (nicht erreicht, keine Zeit, keine weitere Behandlung an der Klinik mehr gewünscht, unbekannt verzogen oder Patient/-in verstorben) keine weitere Information hinsichtlich des Überlebens ermittelt werden. Die Ursache der Extraktion war in 21,3 % der Fälle endodontischen Ursprungs.

Die geschätzte Überlebensrate nach fünf Jahren lag bei 62 %. Aufgrund des unregelmäßigen Recall-Intervalls beziehungsweise des durchschnittlichen Recall-Zeitraums von 33,2 Monaten ist diese Schätzung als nur bedingt aussagekräftig einzustufen. Der starke Abfall der geschätzten Überlebensrate – von 79 % auf 62 % – innerhalb des letzten Jahres des Beobachtungszeitraums, ist mit der geringen Fallzahl nach dem 48. Monat zu begründen. Eine Abweichung der Überlebensrate bei Inkludierung aller Zähne ist gegeben, jedoch kann bezüglich der Zähne ohne Nachuntersuchung keine Aussage getroffen werden. Basierend auf den Ergebnissen einer Meta-Analyse lag die Überlebenswahrscheinlichkeit endodontisch behandelter Zähne über einen Beobachtungszeitraum von zwei bis zehn Jahren zwischen 86 % und 93 % [176]. Aus weiteren Studien gingen Überlebensraten von 74 %, 95,4 %, 81,5 % und 85,1 % hervor [138, 154, 157, 171]. Der Vergleich der Ergebnisse ist kritisch zu betrachten, da zum einen die Qualifikation der Behandelnden und zum anderen die Observationsperiode variierten. So untersuchten beispielsweise Ng et. al. oder Borén et. al. die Überlebenswahrscheinlichkeit von wurzelkanalbehandelten Zähnen nach vier beziehungsweise nach zehn Jahren. Die Behandlungen wurden in einer endodontischen Spezialklinik oder von postgradualen Studenten mit Fokus auf Endodontie durchgeführt [138, 171]. Lediglich in der Studie Dammaschkes et. al. waren die Behandler/-innen ebenfalls betreute Studierende [157]. Stellt man die Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne in Zusammenhang mit der röntgenologisch erfassten Gesamtqualität –89,3 % zu 82 % –, so ist anzunehmen, dass trotz des niedrigeren Anteils qualitativ annehmbarer Wurzelkanalbehandlungen eine endodontische Behandlung die Krankheitsprogression soweit unterbinden kann, dass der Zahn als Kauereinheit erhalten werden kann. Folglich ist zu vermuten, dass die Prognose des Zahns im Sinne des Zahnerhalts auch dann gut sein kann, wenn das röntgenologische Erscheinungsbild nicht ideal ist, zumal dieses keinen Aufschluss über klinische Qualitätsparameter erlaubt [168].

Aus der Evaluierung der Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern ging Folgendes hervor: neben dem Alter, dem Vorliegen einer Diabeteserkrankung oder einer Herzerkrankung erwiesen sich auch die Länge und die Homogenität als signifikant. Bei einem genaueren Vergleich der Ergebnisse der hier vorliegenden Studie mit den Ergebnissen anderer Studien, die ebenfalls die Überlebenswahrscheinlichkeit untersuchten, wurde Folgendes ersichtlich:

## **Präendodontische Parameter**

### Alter

Der Zusammenhang zwischen der Überlebenswahrscheinlichkeit und dem Patientenalter galt als hochsignifikant. Nach fünf Jahren zeigte die jüngste Patientengruppe die höchste und die älteste Patientengruppe die niedrigste Überlebenswahrscheinlichkeit, wobei letztere auch mit der niedrigsten Fallzahl einhergingen. Dies könnte darin begründet sein, dass mit steigendem Alter zum einen die Prävalenz apikaler Läsionen zunimmt und zum anderen ein erhöhter Zahnhartsubstanzverlust vorliegt [128, 171]. Diese Ergebnisse deckten sich mit den Resultaten Lumleys et. al., Boréns et. al. und Lazarskis et. al., wobei letztere eine 1-2%ige Zunahme von Extraktionen pro Dekade bis zum 60. Lebensjahr verzeichneten [128, 169, 171]. Borén et. al. konnten keine plausible Erklärung dafür finden. In Übereinstimmung mit Fransson et. al. begründeten sie ihre Ergebnisse unter anderem damit, dass in kritischen Fällen bei jüngeren Patienten und Patientinnen eine Implantatversorgung einer kompromittierenden endodontischen Behandlung vorgezogen wurde [171, 172]. Caplan und Weintraub beschrieben bei älteren Behandelten pro Altersdekade eine 1,4-mal häufigere Extraktionsrate wurzelkanalbehandelter Zähne [281]. Für die von ihnen definierten Altersgruppen erkannten Aquilino und Caplan nach fünf Jahren eine Überlebensrate von 93 %, 87 % und 82 %. Sie verzeichneten zwar eine Abnahme der Überlebensrate mit zunehmendem Alter, das Ergebnis war jedoch nicht signifikant [117]. Weitere Studie teilten diese Ansicht [157, 282].

### Geschlecht

Hinsichtlich des Geschlechts konnte der Literatur eine deutlich homogenere Stellungnahme entnommen werden. Wie auch in dieser Studie erwies sich das Geschlecht der Behandelten in der Mehrheit der Studien, die die Überlebensrate beziehungsweise Überlebenswahrscheinlichkeit untersuchten, als nicht relevant [128, 157, 202, 282]. Caplan et.

al. erkannten sowohl nach fünf als auch nach zehn Jahren eine etwas höhere Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne bei Frauen, beschrieben die Differenz jedoch als nicht signifikant [202]. Lediglich Borén et. al. verzeichneten bei Frauen eine um 10 % signifikant höhere Überlebensrate [171]. Weitere Studien, die derartige Korrelationen untersuchten, gingen nicht auf das Geschlecht ein [96, 154].

#### Anamnestische Angaben: Raucherstatus, Diabetes und Herzerkrankungen

Hinsichtlich der anamnestischen Angaben wurde jeweils eine signifikante Assoziation zwischen Diabetes beziehungsweise dem Vorliegen einer Herzerkrankung und der geschätzten Überlebensrate festgestellt. Diese Ergebnisse glichen sowohl den Ergebnissen Wangs et. al. als auch den Ergebnissen Mindiolas et. al., wobei sie die Signifikanz hinsichtlich des Vorkommens der Extraktion wurzelkanalbehandelter Zähne konstatierten [260, 261]. Im Vergleich zu gesunden Patienten und Patientinnen kann bei diabetisch erkrankten Behandelten der Verbleib von Bakterien aufgrund der unzureichenden Immunabwehr zur Extraktion führen. Dies könnte unter anderem die beschriebenen Ergebnisse rechtfertigen [260]. Im Rahmen einer weiteren Studie wurde nach einer Observationsperiode von vier Jahren eine dreimal so hohe Extraktionsrate bei Diabetikern im Vergleich zu gesunden Behandelten beschrieben, in einer weiteren Veröffentlichung hingegen ging Diabetes als weniger relevanter Faktor hervor [138, 163]. In der hier vorliegenden Studie wurde bei einer anamnestisch bekannten Herzkrankheit nicht genauer differenziert. Abweichende Ergebnisse bei differenzierter Betrachtung der Krankheitsbilder sind nicht auszuschließen. So konnten Ng et. al. keine ausschlaggebende Relevanz zwischen der koronaren Herzkrankheit und der Überlebenswahrscheinlichkeit feststellen [138].

Die von Doyle et. al. beschriebene Signifikanz des Raucherstatus konnte in dieser Studie nicht gestützt werden. Es ist zu beachten, dass Doyle et. al. Abstufungen zwischen dem Behandlungserfolg und dem bloßen Überleben des Zahnes machten, während die Ergebnisse dieses Abschnittes der hier vorliegenden Studie ausschließlich die Überlebenswahrscheinlichkeit zum Inhalt hat [163]. Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Erhebung und Verwertung genauerer Daten, beispielsweise der konsumierten Tabakmenge, ist durchaus denkbar. Die beschriebenen signifikanten Zusammenhänge wurden statistisch belegt, aber ob diese auch einen kausalen Ursprung haben, bleibt fraglich [255, 256].

## Zahntyp

Die in der hier vorliegenden Studie erfassten Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen anderer Studien überein, die ebenfalls keinen relevanten Zusammenhang zwischen dem Zahntyp und der Überlebensrate feststellen konnten [157, 203, 282]. Die geschätzte Überlebensrate lag unter Berücksichtigung des jeweiligen Zahntyps, zwischen 50 % und 82 %. Die obere und untere Grenze wurde von Ober- beziehungsweise Unterkiefermolaren markiert. Dies könnte darin begründet sein, dass die Behandlung mehrwurzeliger Zähne aufgrund der komplexeren Anatomie des Wurzelkanalsystems einerseits anspruchsvoller ist und somit eine niedrigere Überlebensrate der Unterkiefermolaren hervorruft. Andererseits ist anzunehmen, dass derart komplizierte Behandlungen mit erhöhter Konzentration durchgeführt werden – dies rechtfertigt wiederum die hohe Überlebensrate der Oberkiefermolaren [11, 157]. Dammaschke et. al. registrierten bei von Studenten und Studentinnen durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen für Molaren und Prämolaren eine höhere Überlebensrate als für Frontzähne [157]. Eine weitere Studie, die unter anderem die Relevanz des Zahntyps in diesem Zusammenhang untersuchte, beschrieb ausschließlich das Alter, das Geschlecht und die postendodontische Kronenversorgung als signifikant [171]. Basierend auf den Ergebnissen einer Meta-Analyse wurde für Frontzähne eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als für Prämolaren und Molaren festgestellt, die jedoch nicht signifikant war. Bei dem Vergleich der Prämolaren beziehungsweise aller weiterer Zahntypen mit Molaren wiesen letztere eine deutlich niedrigere geschätzte Überlebensrate auf [176]. Neben Wang et. al. berichteten auch Lazarski et. al. und Chen et. al. von einer signifikant höheren Extraktionsrate mit zunehmender Position des Zahntyps nach distal, wobei sie jeweils über hunderttausend beziehungsweise über eine Million endodontisch behandelte Zähne in ihre Studien integrierten [128, 168, 261]. Die hohe Diskrepanz der betrachteten Fälle im Vergleich zu der hier vorliegenden Studie könnte für die divergierenden Ergebnisse ursächlich sein. In dieser Studie wurden keine näheren Untersuchungen bezüglich der Extraktionsrate, die im Bezug zur Überlebensrate steht, und dem Zahntyp durchgeführt. Daher kann diesbezüglich keine Stellung bezogen werden. Neben den genannten Autoren beschrieben auch Lumley et. al. und Aquilino und Caplan ihre Ergebnisse als signifikant [117, 169]. Letztere konstatierten eine geschätzte Fünf-Jahres-Überlebensrate von 80 % bis 91 %. Dabei schnitten die zweiten Molaren am schlechtesten ab. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die erhöhte Kaubelastung sein [117]. Zudem spiegeln solche Ergebnisse vermutlich die erschwerten Behandlungsumstände wider, die auf das eingeschränkte Sichtfeld zurückzuführen sind [117, 169]. Die Gegenüberstellung der Studienergebnisse ist jedoch

aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise hinsichtlich der Kategorisierung der Zahntypen kritisch zu bewerten.

#### Diagnose und der präendodontische periapikale Zustand (initialer PAI)

Die Ergebnisse Stolls et. al., die besagten, dass das Vorhandensein präendodontischer Schmerzen signifikant mit der Überlebenschance korreliert und folglich das Fehlen von Schmerzen die Überlebenswahrscheinlichkeit begünstigt, konnten im Rahmen dieser Studie nicht gestützt werden [154]. Das asymptomatische Krankheitsbild der irreversiblen Pulpitis war mit einer niedrigeren geschätzten Überlebensrate verknüpft als das symptomatische Krankheitsbild. Dies könnte der niedrigen Fallzahl asymptomatischer irreversibler Pulpitiden geschuldet sein. Im Falle einer apikalen Parodontitis wiesen asymptomatische Zähne eine höhere Überlebensrate als symptomatische Zähne auf. Die Differenz galt jedoch nicht als signifikant. Ein abweichendes Ergebnis, verbunden mit einer Signifikanz, ist bei einer höheren Anzahl untersuchter Fälle nicht auszuschließen. Neben der Schmerzdiagnostik beschrieben Stoll et. al. auch den pulpalen Status im Sinne der Vitalität als relevant [154]. Zwar zeigten auch in dieser Studie die Zähne, die mit vitaler Pulpa einer endodontischen Behandlung unterzogen werden mussten, eine höhere Überlebensrate als diejenigen Zähne, deren Diagnosen vermeintlich mit einer Avitalität einhergehen. Jedoch erwies sich dies im Zusammenhang mit der Überlebensrate nicht als signifikant. Borén et. al. nannten die präendodontische Vitalität nicht als ausschlaggebenden Parameter [171]. Im Zuge einer Studie wurde die pulpale Diagnose in Verbindung mit dem periapikalen Ausgangszustand gebracht. Dabei hatten Zähne mit Pulpitiden ohne apikale Läsion eine signifikant höhere Überlebensrate als Pulpanekrosen mit apikaler Parodontitis [173]. Weitere Studien, die die geschätzte Überlebensrate hinsichtlich der gestellten Diagnose analog zu der hier vorliegenden Studie untersuchten, konnten nicht aufgefunden gemacht werden.

Bei Betrachtung des dichotomisierten präendodontischen periapikale Index wurde ersichtlich, dass Zähne mit einem initialen PAI von 1 oder 2 nach fünf Jahren mit 77 % mit einer höheren durchschnittlichen Überlebenswahrscheinlichkeit einhergingen als diejenigen mit einem PAI von größer gleich 3 (60 %). Mit einer 83,6 %igen Überlebenswahrscheinlichkeit verzeichneten auch Dammaschke et. al. in Abwesenheit einer periapikalen Läsion eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als in Anwesenheit einer solchen [157]. Aus einer weiteren Studie ergab sich unter Verwendung des dichotomisierten PRI eine um 24 % niedrigere

geschätzte Überlebensrate bei den Graden, die eine Läsion implizierten [154]. Beide Studien beschrieben den Zusammenhang nach einer Observationsperiode von zehn Jahren als signifikant [154, 157]. Aus der Meta-Analyse von Ng et. al. ging ebenfalls eine signifikante Begünstigung der Zähne hervor, die initial periapikal keine apikale Läsion aufwiesen [176]. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die Persistenz von Mikroorganismen im periapikalen Gewebe sein, die im Rahmen der endodontischen Behandlung nicht eliminiert werden konnten und folglich die Ausheilung unterdrückten beziehungsweise die Überlebenswahrscheinlichkeit reduzierten [87, 157, 158].

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie erwies sich der initiale periapikale Zustand bei genauerer Differenzierung der PAI Grade im Zusammenhang mit der geschätzten Überlebensrate jedoch, entgegen der Erwartungen, als knapp nicht signifikant. Auffallend war, dass Zähne mit einem initialen PAI von 5 am besten abschnitten, während Zähne, die einen PAI Grad 3 hatten, die niedrigste Überlebensrate aufwiesen. Dies könnte in der niedrigen Fallzahl begründet sein, da der Misserfolg beziehungsweise das Ausbleiben eines Misserfolges statistisch stärker ins Gewicht fiel. In diesem Zusammenhang könnte auch die Betrachtung intervenierter Zähne als überlebend eine Rolle spielen.

Analog den hier präsentierten Ergebnissen, konnten weder Borén et. al. noch Aquilino und Caplan eine Signifikanz hinsichtlich des initialen periapikalen Zustandes feststellen [117, 171]. In Abhängigkeit der Ab-/ Anwesenheit einer periapikalen Läsion verzeichneten letztere nach fünf Jahren eine 10%ige und nach zehn Jahren eine 7%ige Differenz hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeit, erachteten diese jedoch nicht als signifikant [117].

## **Behandlungsinterne Parameter**

### Gesamtqualität

Obwohl die Parameter, anhand derer die Gesamtqualität gemessen wurde, von Bedeutung waren, konnte keine Signifikanz der Gesamtqualität bezüglich der Überlebenswahrscheinlichkeit festgestellt werden. Eine plausible Erklärung hierfür konnte nicht gefunden werden. In einer Meta-Analyse wurde dieser Zusammenhang beschrieben, wobei die Definition der Wurzelfüllqualität eher der Definition der Homogenität in der hier vorliegenden Studie entsprach und somit den Vergleich unzulänglich machte [138].

### Länge

Neben Alley et. al. berichteten weitere Autoren von einer signifikanten Überlegenheit der Zähne mit idealer Wurzelfülllänge [96, 154, 157]. Eine Studie verzeichnete im Falle zu kurzer Obturationen die niedrigste Überlebensrate, eine andere beschrieb diesen Sachverhalt im Zusammenhang mit zu lang obturierten Zähnen [154, 157]. Auch in dieser Studie galt die Korrelation bei Betrachtung der fünf Bewertungsmöglichkeiten als entscheidend. Entgegen der Erwartung zeigten nach fünf Jahren die über 2 mm zu kurz obturierten Zähne und die Zähne mit einem apikalen Puff eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als Zähne mit idealer Wurzelfülllänge: 90 % und 81 % versus 58 %. Es ist nicht auszuschließen, dass die Anzahl der jeweils untersuchten Fälle in diesem Zusammenhang eine Rolle spielt. Bei Betrachtung der Überlebensrate nach Zusammenführung der Beurteilungsmöglichkeiten von adäquater und inadäquater Länge schnitten Zähne mit inakzeptabler Wurzelfülllänge besser ab. Diese Ergebnisse waren jedoch trotz der hohen Diskrepanz von knapp 20 %, nicht signifikant. Unter Hinzuziehung der Zähne mit einem apikalen Puff zu denjenigen Zähnen mit adäquater Wurzelfülllänge wäre auch im Zusammenhang mit der Überlebenswahrscheinlichkeit ein abweichendes Ergebnis durchaus zu vermuten, da sie mit einer 81 %igen Überlebenswahrscheinlichkeit nach fünf Jahren ein vielversprechende Ergebnis aufwiesen. Caplan und Weintraub konnten bei ihren Untersuchungen bezüglich der Faktoren, die mit der Extraktion von wurzelkanalbehandelten Zähnen korrelieren, keine Signifikanz hinsichtlich der Länge ausmachen [176, 281].

### Homogenität

Nur wenige Studien untersuchten die geschätzte Überlebensrate in Abhängigkeit von der Homogenität [154, 202]. Die präsentierten Ergebnisse deckten sich mit den Resultaten von Stoll et. al. Sie verzeichneten nach zehn Jahren eine Differenz und beschrieben diese als signifikant [154]. Ähnliches findet sich in der hier vorliegenden Studie nach fünf Jahren, wobei hier allerdings auf die verhältnismäßig niedrige Fallzahl inhomogen gefüllter Zähne verwiesen werden muss. Caplan et. al. hingegen konnten keine relevante Korrelation feststellen [202]. Weitere Studien, die sich mit dieser Thematik befassten, untersuchten diesen Zusammenhang nicht [128, 157, 171].

## Fülltechnik

Ausgehend von einer geschätzten Überlebensrate von 95 % bei warm-vertikal obturierten Zähnen, 62 % bei lateral kompaktierten Zähnen und 50 % bei Zähnen, die mittels Thermafil gefüllt wurden, konnten in der hier vorliegenden Studie keine spezifischen Unterschiede in Abhängigkeit der angewandten Fülltechnik, festgestellt werden. Warm-vertikale Zähne waren mit der höchsten Überlebenschance assoziiert, wobei diese auch mit der niedrigsten Fallzahl in die Studie eingingen. Im Zuge zweier Studien kamen Pirani et. al. unter Verwendung von Thermafil auf eine Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne von 87 % beziehungsweise 88 %. Basierend auf ihren Ergebnissen konstatierten sie, dass die Überlebensrate trägerbasierter gefüllter Zähne vergleichbar mit der Überlebensrate konventionell gefüllter Zähne ist [173, 174]. Dammaschkes et. al. Untersuchungen zufolge zeigten lateral kompaktierte Zähne nach zehn Jahren eine geschätzte Überlebensrate von 85,1 % [157]. Aus einer weiteren Studie ergab sich in Abhängigkeit von der koronalen Versorgung nach fünf Jahren eine Überlebenschance zwischen 92,5 % und 94,3 % [203]. In den beiden letzteren Studien stand die verwendete Füllmethode jedoch nicht wie bei Pirani et. al. im Vordergrund und wurde auch nicht genauer untersucht [157, 173, 174, 203]. Aufgrund der mangelnden Anzahl an Veröffentlichungen, die sich mit der Relevanz der angewandten Fülltechnik im Zusammenhang mit der Überlebenswahrscheinlichkeit sowie deren Vergleich beschäftigten, ist eine genauere Einordnung der hier präsentierten Ergebnisse nicht möglich.

## **Postendodontische Parameter**

### Koronale Versorgung

Kongruent zur Untersuchung der Erfolgsrate wurden auch bei der Erfassung der geschätzten Überlebensrate in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern keine postendodontischen Faktoren berücksichtigt. Dies kann als Limitierung der Studie angesehen werden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass aus mehreren früheren Studien die Relevanz der koronalen Restauration hervorging [117, 128, 139, 157, 171, 176, 202].

## 6. Schlussfolgerung

Die Erfolgsrate studentisch durchgeführter endodontischer Behandlungen im Zeitraum vom Sommersemester 2013 bis einschließlich zum Sommersemester 2017 betrug 83,2 %. Unter der Berücksichtigung unterschiedlicher Herangehensweisen und Kriteriendefinitionen deckte sich das Ergebnis mit denen internationaler Studien.

Auch hinsichtlich der Gesamtqualität konnte mit 82 % ein ähnlicher Anteil idealer beziehungsweise akzeptabler Obturationen erfasst werden. Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit deckte sich hingegen nicht mit internationalen Daten, wobei das Ergebnis aufgrund des unregelmäßigen Recall-Intervalls beziehungsweise aufgrund des durchschnittlichen Recall-Zeitraums von 33,2 Monaten nur bedingt aussagekräftig ist.

In nachfolgende Studien sollte aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse von Zähnen mit einem apikalen Puff im Zusammenhang mit der Überlebensrate und der Erfolgsrate deren Hinzuziehung zu Zähnen mit idealer/ guter Gesamtqualität in Erwägung gezogen werden. Des Weiteren sollte der Fokus neben der lateralen Kompaktion auch auf neuen Fülltechniken liegen. Zudem wäre die Etablierung international gültiger Kriteriendefinition bezüglich Behandlungsqualität (Länge) sowie Erfolg und Misserfolg in der Endodontie wünschenswert.

## 7. Zusammenfassung

Im Rahmen einer prospektiven Kohortenstudie sollte in dieser Arbeit die Erfolgsrate der von Studierenden durchgeführten endodontischen Behandlungen, die im Zeitraum vom Sommersemester 2013 bis einschließlich zum Sommersemester 2017 an der Ludwig-Maximilians-Universität München in der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie absolviert wurden, ermittelt werden. Hinsichtlich der Erfolgsrate sollten zudem all diejenigen Parameter eruiert werden, die in einem direkten oder indirekten erfolgsrelevanten Zusammenhang standen. Neben der Erfolgsrate wurden auch die Gesamtqualität sowie die Überlebenschancen untersucht.

Ausgehend von 991 initial durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen konnten 644 Zähne im Rahmen des Recalls – eine klinische und röntgenologische Nachuntersuchung, die mindestens ein Jahr nach Abschluss der Initialbehandlung erfolgte – nachuntersucht werden und dienen der Qualitätsbeurteilung. Bei Betrachtung der Gesamtqualität, gemessen an den Qualitätsparametern Wurzelfülllänge und Homogenität, wiesen insgesamt 82 % eine annehmbare Gesamtqualität auf. Dabei gingen 64 % der untersuchten Zähne mit einer idealen und weitere 18 % mit einer akzeptable Gesamtqualität einher.

Bei der Betrachtung der Wurzelfülllänge und der international gebräuchlichen 3 Stufen Skala ergab sich folgendes Bild: 71,7 % wurden bis 0-2 mm vom Apex gefüllt, 24,1 % wiesen einen apikalen Puff auf oder wurden zu lang gefüllt und 4,2 % wurden mehr als 2 mm vom Apex zu kurz gefüllt. 90,8 % der Wurzelkanalfüllungen wurden als homogen bewertet.

Abzüglich derjenigen Recalluntersuchungen bei denen kein Röntgenbild angefertigt werden konnte, wurden 565 Patientenfälle zur Ermittlung der Erfolgsrate in das Studienmaterial integriert. Unter alleiniger Verwendung des periapikalen Index nach D. Ørstavik zur Erfolgsbeurteilung wiesen 83,2 % der behandelten Zähne einen Therapieerfolg auf. Die Ausgangsdiagnose sowie der initiale periapikale Zustand erwiesen sich im Zusammenhang mit dem Behandlungserfolg als hochsignifikant. Ausgehend von den Zähnen, die initial einen periapikalen Index von 1 oder 2 hatten und folglich keine röntgenologischen Anzeichen einer apikalen Parodontitis aufwiesen, wurden 88,2 % erfolgreich behandelt. Im Falle einer präendodontischen apikalen pathologischen Veränderung – PAI Grad 3, 4 oder 5 – waren es 75,6 %. Zähne mit einem PAI Grad 3, 4 oder 5 wiesen mit zunehmender Gravität die niedrigeren Erfolgsraten auf. Zudem galten das Geschlecht, das Vorliegen einer

Diabeteserkrankung sowie der Zahntyp als erfolgsrelevante Parameter. In Anbetracht des Alters, des Raucherstatus, des Vorliegens einer Herzerkrankung, der Gesamtqualität sowie der Faktoren Länge und Homogenität konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden. Des Weiteren konnte keine der untersuchten Korrelationen zwischen den Parametern (Zahntyp und angewandte Fülltechnik mit jeweils der Wurzelfülllänge und Homogenität) für das Behandlungsergebnis als indirekt relevant eingestuft werden.

Nach Abzug der 34 doppelten Fälle, konnten zur Evaluierung der Überlebenswahrscheinlichkeit 957 Fälle in das Studienmaterial integriert werden. Der durchschnittliche Recall-Zeitraum lag bei 33,2 Monate und die Recall-Rate bei 65 %. Zum Zeitpunkt der Recalluntersuchung waren 89,3 % der Zähne in Situ (Überleben). Die geschätzte Überlebensrate nach fünf Jahren lag bei 62 %, wobei dieser Wert aufgrund des unregelmäßigen Recall-Intervalls beziehungsweise aufgrund des durchschnittlichen Recall-Zeitraums von 33,2 Monaten hinsichtlich seiner Aussagekraft unter Vorbehalt zu bewerten ist.

In Anbetracht der präsentierten Ergebnisse ist die studentisch erbrachte endodontische Leistung in dem genannten Zeitraum als erfolgversprechend einzustufen.

## 8. Literaturverzeichnis

1. De Moor, R., et al., *Undergraduate curriculum guidelines for endodontology*. Int Endod J, 2013. **46**(12): p. 1105-14.
2. Field, J.C., J.G. Cowpe, and A.D. Walmsley, *The Graduating European Dentist: A New Undergraduate Curriculum Framework*. Eur J Dent Educ, 2017. **21 Suppl 1**: p. 2-10.
3. Qualtrough, A.J., *Undergraduate endodontic education: what are the challenges?* Br Dent J, 2014. **216**(6): p. 361-4.
4. Jokinen, M.A., et al., *Clinical and radiographic study of pulpectomy and root canal therapy*. Scand J Dent Res, 1978. **86**(5): p. 366-73.
5. Sjögren, U., et al., *Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis*. Int Endod J, 1997. **30**(5): p. 297-306.
6. Weiger, R., R. Rosendahl, and C. Löst, *Influence of calcium hydroxide intracanal dressings on the prognosis of teeth with endodontically induced periapical lesions*. Int Endod J, 2000. **33**(3): p. 219-26.
7. Farzaneh, M., et al., *Treatment outcome in endodontics-the Toronto Study. Phase II: initial treatment*. J Endod, 2004. **30**(5): p. 302-9.
8. Friedman, S., S. Abitbol, and H.P. Lawrence, *Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment*. J Endod, 2003. **29**(12): p. 787-93.
9. Marquis, V.L., et al., *Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase III: initial treatment*. J Endod, 2006. **32**(4): p. 299-306.
10. Sonntag, D., et al., *Pre-clinical endodontics: a survey amongst German dental schools*. Int Endod J, 2008. **41**(10): p. 863-8.
11. Chakravarthy, P.V. and J.R. Moorthy, *Radiographic assessment of quality of root fillings performed by undergraduate students in a Malaysian Dental School*. Saudi Endod J, 2013. **3**(2): p. 77-81.
12. *Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment*. Int Endod J, 1994. **27**(3): p. 115-24.
13. Barenthin, I., *A review and discussion of goals in community dentistry*. Community Dent Oral Epidemiol, 1975. **3**(2): p. 45-51.
14. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, M.-u.K., *Wissenschaftliche Stellungnahme des Endodontie-Beirates der DGZ, „Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung“*. 06/2005. **2**.
15. Orstavik, D., K. Kerekes, and H.M. Eriksen, *The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis*. Endod Dent Traumatol, 1986. **2**(1): p. 20-34.
16. Michael, A., *Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne*. Quintessenz, 62(10):000-000, 2011.
17. Vertucci, F.J., *Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures*. Endodontic Topics, 2005. **10**(1): p. 3-29.
18. Baumann, M.A. and R. Beer, *Farbatlanten der Zahnmedizin - Endodontologie*. (ISBN: 9783137257028), 2007: Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart; S. 2-6.
19. Galler, K., *Stammzellen für die Zahnmedizin - Regeneration der dentalen Pulpa*. zm - Zahnärztliche Mitteilungen; Heft 09/2013, S. 38-40, 2013.
20. Yoshida, S. and H. Ohshima, *Distribution and organization of peripheral capillaries in dental pulp and their relationship to odontoblasts*. Anat Rec, 1996. **245**(2): p. 313-26.

21. Dammaschke, T., K. Galler, and G. Krastl, *Aktuelle Empfehlungen zur Vitalerhaltung der Pulpa*. Dtsch Zahnärztl, 2019(2019): p. 74.
22. Hellwig, E., J. Klimek, and T. Attin, *Einführung in die Zahnerhaltung* (ISBN: 978-3-7691-3371-4), 2009: Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, S. 351-352.
23. Kuttler, Y., *Microscopic investigation of root apices*. J Am Dent Assoc, 1955. **50**(5): p. 544-52.
24. Wu, M.K., P.R. Wesselink, and R.E. Walton, *Apical terminus location of root canal treatment procedures*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2000. **89**(1): p. 99-103.
25. Stein, T.J. and J.F. Corcoran, *Anatomy of the root apex and its histologic changes with age*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1990. **69**(2): p. 238-42.
26. Dummer, P.M., J.H. McGinn, and D.G. Rees, *The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen*. Int Endod J, 1984. **17**(4): p. 192-8.
27. Vertucci, F., A. Seelig, and R. Gillis, *Root canal morphology of the human maxillary second premolar*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1974. **38**(3): p. 456-64.
28. Ahmed, H.M.A., et al., *A new system for classifying root and root canal morphology*. Int Endod J, 2017. **50**(8): p. 761-770.
29. Vertucci, F.J., *Root canal anatomy of the human permanent teeth*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1984. **58**(5): p. 589-99.
30. Hülsmann, M. and E. Schäfer, *Probleme in der Endodontie*. Berlin: Quintessenz, 2007. **500**.
31. Abbott, P. and C. Yu, *A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system*. Australian Dental Journal, 2007. **52**: p. S17-S31.
32. Abbott, P.V., *Classification, diagnosis and clinical manifestations of apical periodontitis*. Endodontic topics, 2004. **8**(1): p. 36-54.
33. Ricucci, D., S. Loghin, and J.F. Siqueira, Jr., *Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses*. J Endod, 2014. **40**(12): p. 1932-9.
34. Torabinejad, M. and R. Walton, *Pulp and periapical pathosis*. Endodontics: Principles and Practice, 2008. **4**: p. 49-51.
35. Trowbridge, H.O., *Pathogenesis of pulpitis resulting from dental caries*. J Endod, 1981. **7**(2): p. 52-60.
36. Dammaschke, T., *Aus der Grundlagenforschung - Dentin- und Hartgewebeneubildung nach Überkappung der Pulpa*. zm - Zahnärztliche Mitteilungen; Heft 18/2017, S. 74-84, 2017: p. 74-84.
37. Smith, A.J., et al., *Reactionary dentinogenesis*. International Journal of Developmental Biology, 2003. **39**(1): p. 273-280.
38. Nair, P.N., *Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures*. Crit Rev Oral Biol Med, 2004. **15**(6): p. 348-81.
39. Nair, P.N., *Apical periodontitis: a dynamic encounter between root canal infection and host response*. Periodontol 2000, 1997. **13**: p. 121-48.
40. Dahlén, G., *Studies on lipopolysaccharides from oral Gram-negative anaerobic bacteria in relation to apical periodontitis*. 1980.
41. Huuonen, S. and D. Ørstavik, *Radiological aspects of apical periodontitis*. Endodontic Topics, 2002. **1**(1): p. 3-25.
42. Tibúrcio-Machado, C.S., et al., *The global prevalence of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis*. Int Endod J, 2021. **54**(5): p. 712-735.
43. Jakovljevic, A., et al., *Prevalence of Apical Periodontitis and Conventional Nonsurgical Root Canal Treatment in General Adult Population: An Updated Systematic Review and*

- Meta-analysis of Cross-sectional Studies Published between 2012 and 2020.* J Endod, 2020. **46**(10): p. 1371-1386.e8.
44. Bürklein, S., et al., *Quality of root canal fillings and prevalence of apical radiolucencies in a German population: a CBCT analysis.* Clin Oral Investig, 2020. **24**(3): p. 1217-1227.
  45. Kirkevang, L.L. and P. Hørsted-Bindslev, *Technical aspects of treatment in relation to treatment outcome.* Endodontic Topics, 2002. **2**(1): p. 89-102.
  46. Siqueira Junior, J.F., et al., *Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies.* Braz Oral Res, 2018. **32**(suppl 1): p. e65.
  47. Weber, T., *Erschließung der Wurzelkanäle*, in *Memorix Zahnmedizin*, T. Weber, Editor. 2017, Georg Thieme Verlag.
  48. Ahmad, I.A., *Rubber dam usage for endodontic treatment: a review.* Int Endod J, 2009. **42**(11): p. 963-72.
  49. Ricucci, D., *Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review.* Int Endod J, 1998. **31**(6): p. 384-93.
  50. Frank, A., et al., *Endodonzia clinica e chirurgica. Padova, Italy 1988: 63–7 cited by Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1 literature review.* Int Endod J, 1998. **31**: p. 384-93.
  51. Kim, S.T., P.V. Abbott, and P. McGinley, *The effects of Ledermix paste on discolouration of mature teeth.* Int Endod J, 2000. **33**(3): p. 227-32.
  52. Tomson, R.M., N. Polycarpou, and P.L. Tomson, *Contemporary obturation of the root canal system.* Br Dent J, 2014. **216**(6): p. 315-22.
  53. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, M.-u.K., *Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ, Aufbau endodontisch behandelter Zähne.* Dtsch Zahnärztl 58, 2003.
  54. Pauwels, R., *History of dental radiography: Evolution of 2D and 3D imaging modalities.* Med. Phys. Int, 2020. **8**: p. 235-277.
  55. Patel, S., et al., *Cone beam computed tomography in Endodontics - a review.* Int Endod J, 2015. **48**(1): p. 3-15.
  56. Patel, S., et al., *New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems.* Int Endod J, 2009. **42**(6): p. 447-462.
  57. Vandenberghe, B., R. Jacobs, and H. Bosmans, *Modern dental imaging: a review of the current technology and clinical applications in dental practice.* Eur Radiol, 2010. **20**(11): p. 2637-55.
  58. Velvart, P., H. Hecker, and G. Tillinger, *Detection of the apical lesion and the mandibular canal in conventional radiography and computed tomography.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2001. **92**(6): p. 682-8.
  59. Bender, I.B. and S. Seltzer, *Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: II. 1961.* J Endod, 2003. **29**(11): p. 707-12; discussion 701.
  60. Bender, I.B. and S. Seltzer, *Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. 1961.* J Endod, 2003. **29**(11): p. 702-6; discussion 701.
  61. Tanomaru-Filho, M., et al., *Comparative radiographic and histological analyses of periapical lesion development.* Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol, and Endod, 2009. **107**(3): p. 442-447.
  62. Leonardi Dutra, K., et al., *Diagnostic Accuracy of Cone-beam Computed Tomography and Conventional Radiography on Apical Periodontitis: A Systematic Review and Meta-analysis.* J Endod, 2016. **42**(3): p. 356-64.

63. Schulze, R., et al., *s2k-Leitlinie dentale digitale Volumentomographie*. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2013: p. 083-005.
64. Patel, S., *New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography*. Int Endod J, 2009. **42**(6): p. 463-75.
65. Lofthag-Hansen, S., et al., *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): p. 114-9.
66. Nasseh, I. and W. Al-Rawi, *Cone Beam Computed Tomography*. Dent Clin North Am, 2018. **62**(3): p. 361-391.
67. Geibel, M.-A., A. Euchner, and V. Rasche, *Zahnärztliches Röntgen: Neuerungen und Perspektiven*. wissen kompakt, 2014. **8**(2): p. 3-11.
68. Spitzer, W.J. and T. Binger, [*Roentgen diagnosis in oromaxillofacial surgery*]. Mund Kiefer Gesichtschir, 2000. **4 Suppl 1**: p. S270-7.
69. Rushton, V.E. and K. Horner, *The use of panoramic radiology in dental practice*. J Dent, 1996. **24**(3): p. 185-201.
70. Flint, D.J., et al., *A diagnostic comparison of panoramic and intraoral radiographs*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1998. **85**(6): p. 731-5.
71. Rohlin, M., et al., *Comparison between panoramic and periapical radiography in the diagnosis of periapical bone lesions*. Dentomaxillofac Radiol, 1989. **18**(4): p. 151-5.
72. Stephens, R.G., et al., *A comparison of panorex and intraoral surveys for routine dental radiography*. Dent J, 1977. **43**(6): p. 281-6.
73. Muhammed, A.H. and L. Manson-Hing, *A comparison of panoramic and intraoral radiographic surveys in evaluating a dental clinic population*. Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, 1982. **54**(1): p. 108-117.
74. Ahlqwist, M., A. Halling, and L. Hollender, *Rotational panoramic radiography in epidemiological studies of dental health. Comparison between panoramic radiographs and intraoral full mouth surveys*. Swed Dent J, 1986. **10**(1-2): p. 73-84.
75. Horton, P.S., et al., *Analysis of interpretations of full-mouth and panoramic surveys*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1977. **44**(3): p. 468-75.
76. Perschbacher, S., *Interpretation of panoramic radiographs*. Australian dental journal, 2012. **57**: p. 40-45.
77. Walker, C., D. Thomson, and G. McKenna, *Case study: limitations of panoramic radiography in the anterior mandible*. Dental update, 2009. **36**(10): p. 620-623.
78. Molander, B., M. Ahlqwist, and H.G. Gröndahl, *Panoramic and restrictive intraoral radiography in comprehensive oral radiographic diagnosis*. Eur J Oral Sci, 1995. **103**(4): p. 191-8.
79. Kvist, T., *Apical Periodontitis in Root-Filled Teeth*. 2018: Springer. p.12.
80. Scarfe, W.C., A.G. Farman, and P. Sukovic, *Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice*. J Can Dent Assoc, 2006. **72**(1): p. 75-80.
81. da Silva Moura, W., et al., *Factors influencing the effective dose associated with CBCT: a systematic review*. Clin Oral Investig, 2019. **23**(3): p. 1319-1330.
82. Koong, B., *Cone beam imaging: is this the ultimate imaging modality?* Clin Oral Implants Res, 2010. **21**(11): p. 1201-8.
83. Endodontists., A.A.o. *AAE and AAOMR joint position statement: Use of cone beam computed tomography in endodontics-2015/2016 update*  
[http://www.aae.org/uploadedfiles/clinical\\_resources/guidelines\\_and\\_position\\_statements/conebeamstatement.pdf](http://www.aae.org/uploadedfiles/clinical_resources/guidelines_and_position_statements/conebeamstatement.pdf). Last accessed on: 13. Juli 2021.

84. Haßfeld, S. and C. Scheifele, *3D-Diagnostik in der zahnärztlichen Chirurgie*. Dtsch Zahnärztl, 2011. **66**(6): p. 440.
85. Chugal, N.M., J.M. Clive, and L.S. Spångberg, *A prognostic model for assessment of the outcome of endodontic treatment: Effect of biologic and diagnostic variables*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2001. **91**(3): p. 342-52.
86. Heling, B. and A. Tamshe, *Evaluation of the success of endodontically treated teeth*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1970. **30**(4): p. 533-6.
87. Sjogren, U., et al., *Factors affecting the long-term results of endodontic treatment*. J Endod, 1990. **16**(10): p. 498-504.
88. Ricucci, D., et al., *A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2011. **112**(6): p. 825-42.
89. Friedman, S., et al., *Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer*. J Endod, 1995. **21**(7): p. 384-390.
90. Kirkevang, L.L., et al., *Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in a Danish population*. Int Endod J, 2000. **33**(6): p. 509-15.
91. Strindberg, L.Z., *The dependence of the results of pulp therapy on certain factors-an analytical study based on radiographic and clinical follow-up examination*. Acta Odontol Scand, 1956. **14**: p. 1-175.
92. Orstavik, D. and P. Hörsted-Bindslev, *A comparison of endodontic treatment results at two dental schools*. Int Endod J, 1993. **26**(6): p. 348-54.
93. Pak, J.G., S. Fayazi, and S.N. White, *Prevalence of periapical radiolucency and root canal treatment: a systematic review of cross-sectional studies*. J Endod, 2012. **38**(9): p. 1170-6.
94. De Cleen, M.J., et al., *Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population*. Int Endod J, 1993. **26**(2): p. 112-9.
95. Saunders, W.P., et al., *Technical standard of root canal treatment in an adult Scottish sub-population*. Br Dent J, 1997. **182**(10): p. 382-6.
96. Alley, B.S., et al., *A comparison of survival of teeth following endodontic treatment performed by general dentists or by specialists*. Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol, and Endod, 2004. **98**(1): p. 115-118.
97. Gillen, B.M., et al., *Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis*. J Endod, 2011. **37**(7): p. 895-902.
98. Ng, Y.L., et al., *Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors*. Int Endod J, 2008. **41**(1): p. 6-31.
99. Smith, C.S., D.J. Setchell, and F.J. Harty, *Factors influencing the success of conventional root canal therapy--a five-year retrospective study*. Int Endod J, 1993. **26**(6): p. 321-33.
100. Nelson, I., *Endodontics in general practice—a retrospective survey*. Int Endod J, 1982. **15**(4): p. 168-172.
101. Siqueira, J.F., Jr., et al., *Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals*. J Endod, 2002. **28**(3): p. 181-4.
102. Chu, D. and C. Lockwood, *The effectiveness of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation for non-surgical endodontic therapy: a systematic review protocol*. JBI Database System Rev Implement Rep, 2015. **13**(6): p. 127-38.
103. Baker, N.A., et al., *Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions*. J Endod, 1975. **1**(4): p. 127-35.

104. Martinho, F.C., et al., *Clinical investigation of the efficacy of chemomechanical preparation with rotary nickel-titanium files for removal of endotoxin from primarily infected root canals*. J Endod, 2010. **36**(11): p. 1766-9.
105. Bergenholtz, G., et al., *Influence of apical overinstrumentation and overfilling on re-treated root canals*. J Endod, 1979. **5**(10): p. 310-4.
106. Lin, L.M., P.A. Rosenberg, and J. Lin, *Do procedural errors cause endodontic treatment failure?* J Am Dent Assoc, 2005. **136**(2): p. 187-93; quiz 231.
107. Panitvisai, P., et al., *Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis*. J Endod, 2010. **36**(5): p. 775-80.
108. Frostell, G. *Factors influencing the prognosis of endodontic therapy*. in *Transactions of the third international conference on endodontics*. 1963. University of Pennsylvania Philadelphia.
109. Crump, M.C. and E. Natkin, *Relationship of broken root canal instruments to endodontic case prognosis: a clinical investigation*. J Am Dent Assoc, 1970. **80**(6): p. 1341-7.
110. Spili, P., P. Parashos, and H.H. Messer, *The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment*. J Endod, 2005. **31**(12): p. 845-50.
111. Kersten, H.W., P.R. Wesselink, and S.K. Thoden van Velzen, *The diagnostic reliability of the buccal radiograph after root canal filling*. Int Endod J, 1987. **20**(1): p. 20-4.
112. Polyzos, N.K., et al., *Factors Affecting the Outcome of Non-Surgical Endodontic Treatments Performed by Undergraduate Students in a Greek Dental School*. European Endodontic Journal, 2018. **3**(2): p. 93.
113. Ribeiro, D.M., et al., *Technical quality of root canal treatment performed by undergraduate students using hand instrumentation: a meta-analysis*. Int Endod J, 2018. **51**(3): p. 269-283.
114. Eckerbom, M. and T. Magnusson, *Evaluation of technical quality of endodontic treatment--reliability of intraoral radiographs*. Endod Dent Traumatol, 1997. **13**(6): p. 259-64.
115. Ingle, J.I., *Endodonzia*. 1973, Padova, Italy: Piccin, 162-3.
116. Weine, F., *Terapia endodontica. Scienza e tecnica dentistica*. Milano: Eci Internazionali smo, 1982.
117. Aquilino, S.A. and D.J. Caplan, *Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth*. J Prosthet Dent, 2002. **87**(3): p. 256-63.
118. Rafeek, R.N., et al., *Radiographic evaluation of the technical quality of root canal fillings performed by dental students*. Aust Endod J, 2012. **38**(2): p. 64-9.
119. Alsulaimani, R.S., et al., *Effects of Clinical Training and Case Difficulty on the Radiographic Quality of Root Canal Fillings Performed by Dental Students in Saudi Arabia*. Iran Endod J, 2015. **10**(4): p. 268-73.
120. Pettigrew, L.K., et al., *An audit of the quality of root canal treatments performed by undergraduate dental students on single-rooted teeth in Glasgow dental hospital and school*. Eur J Prosthodont Restor Dent, 2007. **15**(2): p. 72-6.
121. Lynch, C.D. and F.M. Burke, *Quality of root canal fillings performed by undergraduate dental students on single-rooted teeth*. Eur J Dent Educ, 2006. **10**(2): p. 67-72.
122. Klevant, F.J. and C.O. Eggink, *The effect of canal preparation on periapical disease*. Int Endod J, 1983. **16**(2): p. 68-75.
123. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique*. J Endod, 1979. **5**(3): p. 83-90.

124. Harty, F., B. Parkins, and A. Wengraf, *Success rate in root canal therapy. A retrospective study of conventional cases*. British Dental Journal, 1970. **128**(2): p. 65-70.
125. Cheung, G.S., *Survival of first-time nonsurgical root canal treatment performed in a dental teaching hospital*. Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol, and Endod, 2002. **93**(5): p. 596-604.
126. Swartz, D.B., A.E. Skidmore, and J.A. Griffin, Jr., *Twenty years of endodontic success and failure*. J Endod, 1983. **9**(5): p. 198-202.
127. Laukkanen, E., M.M. Vehkalahti, and A.K. Kotiranta, *Impact of systemic diseases and tooth-based factors on outcome of root canal treatment*. Int Endod J, 2019. **52**(10): p. 1417-1426.
128. Lazarski, M.P., et al., *Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients*. J Endod, 2001. **27**(12): p. 791-6.
129. Ray, H.A. and M. Trope, *Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration*. Int Endod J, 1995. **28**(1): p. 12-8.
130. Tronstad, L., et al., *Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth*. Endod Dent Traumatol, 2000. **16**(5): p. 218-21.
131. Thiele, L., R. Hickel, and M. Folwaczny, *Der endodontische Misserfolg–von der Definition zur Strategie*. Dtsch Zahnärztl, 2003. **58**: p. 3.
132. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, M.-u.K., Wissenschaftliche Stellungnahme DGZMK *Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen*. DZZ 56 (01), 11/00.
133. Fleming, C.H., et al., *Comparison of classic endodontic techniques versus contemporary techniques on endodontic treatment success*. J Endod, 2010. **36**(3): p. 414-8.
134. Caliřkan, M.K. and B.H. Sen, *Endodontic treatment of teeth with apical periodontitis using calcium hydroxide: a long-term study*. Endod Dent Traumatol, 1996. **12**(5): p. 215-21.
135. Ng, Y.L., et al., *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): p. 921-39.
136. Matsumoto, T., et al., *Factors affecting successful prognosis of root canal treatment*. J Endod, 1987. **13**(5): p. 239-42.
137. Peters, L.B. and P.R. Wesselink, *Periapical healing of endodontically treated teeth in one and two visits obturated in the presence or absence of detectable microorganisms*. Int Endod J, 2002. **35**(8): p. 660-7.
138. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival*. Int Endod J, 2011. **44**(7): p. 610-25.
139. Salehrabi, R. and I. Rotstein, *Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study*. J Endod, 2004. **30**(12): p. 846-50.
140. Chugal, N., et al., *Endodontic Treatment Outcomes*. Dent Clin North Am, 2017. **61**(1): p. 59-80.
141. Tarcin, B., et al., *Radiologic Assessment of Periapical Health: Comparison of 3 Different Index Systems*. J Endod, 2015. **41**(11): p. 1834-8.
142. Reit, C. and L. Hollender, *Radiographic evaluation of endodontic therapy and the influence of observer variation*. Scand J Dent Res, 1983. **91**(3): p. 205-12.

143. Chugal, N.M., J.M. Clive, and L.S. Spångberg, *Endodontic treatment outcome: effect of the permanent restoration*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007. **104**(4): p. 576-82.
144. Wu, M.K., H. Shemesh, and P.R. Wesselink, *Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment*. Int Endod J, 2009. **42**(8): p. 656-66.
145. Orstavik, D., K. Kerekes, and H.M. Eriksen, *Clinical performance of three endodontic sealers*. Endod Dent Traumatol, 1987. **3**(4): p. 178-86.
146. Kirkevang, L.L., et al., *Prognostic value of the full-scale Periapical Index*. Int Endod J, 2015. **48**(11): p. 1051-1058.
147. Klimm, W., *Endodontologie: Grundlagen und Praxis*. 2003: Deutscher Ärzteverlag. p. 92.
148. Segura-Egea, J.J., et al., *Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in an adult Spanish population*. Int Endod J, 2004. **37**(8): p. 525-30.
149. Segura-Egea, J.J., et al., *High prevalence of apical periodontitis amongst type 2 diabetic patients*. Int Endod J, 2005. **38**(8): p. 564-9.
150. Farzaneh, M., S. Abitbol, and S. Friedman, *Treatment outcome in endodontics: the Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment*. J Endod, 2004. **30**(9): p. 627-33.
151. Orstavik, D., *Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man*. Int Endod J, 1996. **29**(3): p. 150-5.
152. Reit, C. and H.G. Gröndahl, *Application of statistical decision theory to radiographic diagnosis of endodontically treated teeth*. Scand J Dent Res, 1983. **91**(3): p. 213-8.
153. Schulte, A., et al., *Prevalence and quality of root canal fillings in a German adult population. A survey of orthopantomograms taken in 1983 and 1992*. Clin Oral Investig, 1998. **2**(2): p. 67-72.
154. Stoll, R., K. Betke, and V. Stachniss, *The influence of different factors on the survival of root canal fillings: a 10-year retrospective study*. J Endod, 2005. **31**(11): p. 783-790.
155. Friedman, S. and C. Mor, *The success of endodontic therapy--healing and functionality*. J Calif Dent Assoc, 2004. **32**(6): p. 493-503.
156. Friedman, S., *Considerations and concepts of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure)*. Endodontic Topics, 2002. **1**(1): p. 54-78.
157. Dammaschke, T., et al., *Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years*. J Endod, 2003. **29**(10): p. 638-43.
158. Bystrom, A., et al., *Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis*. Endod Dent Traumatol, 1987. **3**(2): p. 58-63.
159. Trope, M., E.O. Delano, and D. Orstavik, *Endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: single vs. multivisit treatment*. J Endod, 1999. **25**(5): p. 345-50.
160. Hoskinson, S.E., et al., *A retrospective comparison of outcome of root canal treatment using two different protocols*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2002. **93**(6): p. 705-15.
161. Marending, M., O.A. Peters, and M. Zehnder, *Factors affecting the outcome of orthograde root canal therapy in a general dentistry hospital practice*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2005. **99**(1): p. 119-24.
162. Imura, N., et al., *The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist*. J Endod, 2007. **33**(11): p. 1278-82.

163. Doyle, S.L., et al., *Factors affecting outcomes for single-tooth implants and endodontic restorations*. J Endod, 2007. **33**(4): p. 399-402.
164. Paredes-Vieyra, J. and F.J. Enriquez, *Success rate of single- versus two-visit root canal treatment of teeth with apical periodontitis: a randomized controlled trial*. J Endod, 2012. **38**(9): p. 1164-9.
165. Craveiro, M.A., et al., *Influence of coronal restoration and root canal filling quality on periapical status: clinical and radiographic evaluation*. J Endod, 2015. **41**(6): p. 836-40.
166. Azim, A.A., J.A. Griggs, and G.T. Huang, *The Tennessee study: factors affecting treatment outcome and healing time following nonsurgical root canal treatment*. Int Endod J, 2016. **49**(1): p. 6-16.
167. Tilashalski, K.R., et al., *Root canal treatment in a population-based adult sample: status of teeth after endodontic treatment*. J Endod, 2004. **30**(8): p. 577-81.
168. Chen, S.C., et al., *An epidemiologic study of tooth retention after nonsurgical endodontic treatment in a large population in Taiwan*. J Endod, 2007. **33**(3): p. 226-9.
169. Lumley, P.J., P.S. Lucarotti, and F.J. Burke, *Ten-year outcome of root fillings in the General Dental Services in England and Wales*. Int Endod J, 2008. **41**(7): p. 577-85.
170. Raedel, M., et al., *Three-year outcomes of root canal treatment: Mining an insurance database*. J Dent, 2015. **43**(4): p. 412-7.
171. Landys Borén, D., P. Jonasson, and T. Kvist, *Long-term survival of endodontically treated teeth at a public dental specialist clinic*. J Endod, 2015. **41**(2): p. 176-81.
172. Fransson, H., et al., *Survival of Root-filled Teeth in the Swedish Adult Population*. J Endod, 2016. **42**(2): p. 216-20.
173. Pirani, C., et al., *Survival and periapical health after root canal treatment with carrier-based root fillings: five-year retrospective assessment*. Int Endod J, 2018. **51** Suppl 3: p. e178-e188.
174. Pirani, C., et al., *The fate of root canals obturated with Thermafil: 10-year data for patients treated in a master's program*. Clin Oral Investig, 2019. **23**(8): p. 3367-3377.
175. Kwak, Y., et al., *The 5-Year Survival Rate of Nonsurgical Endodontic Treatment: A Population-based Cohort Study in Korea*. J Endod, 2019. **45**(10): p. 1192-1199.
176. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature*. Int Endod J, 2010. **43**(3): p. 171-89.
177. Molven, O., et al., *Periapical changes following root-canal treatment observed 20-27 years postoperatively*. Int Endod J, 2002. **35**(9): p. 784-90.
178. Kerekes, K., *Radiographic assessment of an endodontic treatment method*. J Endod, 1978. **4**(7): p. 210-3.
179. Eriksen, H.M., D. Orstavik, and K. Kerekes, *Healing of apical periodontitis after endodontic treatment using three different root canal sealers*. Endod Dent Traumatol, 1988. **4**(3): p. 114-7.
180. Benenati, F.W. and S.S. Khajotia, *A radiographic recall evaluation of 894 endodontic cases treated in a dental school setting*. J Endod, 2002. **28**(5): p. 391-5.
181. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health*. Int Endod J, 2011. **44**(7): p. 583-609.
182. Khabbaz, M.G., E. Protogerou, and E. Douka, *Radiographic quality of root fillings performed by undergraduate students*. Int Endod J, 2010. **43**(6): p. 499-508.
183. Balto, H., et al., *Technical quality of root fillings performed by undergraduate students in Saudi Arabia*. Int Endod J, 2010. **43**(4): p. 292-300.

184. Kelbauskas, E., L. Andriukaitiene, and I. Nedzelskiene, *Quality of root canal filling performed by undergraduate students of odontology at Kaunas University of Medicine in Lithuania*. *Stomatologija*, 2009. **11**(3): p. 92-6.
185. Barbakow, F.H., P. Cleaton-Jones, and D. Friedman, *An evaluation of 566 cases of root canal therapy in general dental practice. 1. Diagnostic criteria and treatment details*. *J Endod*, 1980. **6**(2): p. 456-60.
186. Selden, H.S., *Pulpopериapical disease: diagnosis and healing. A clinical endodontic study*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1974. **37**(2): p. 271-83.
187. Ørstavik, D., V. Qvist, and K. Stoltze, *A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment*. *Eur J Oral Sci*, 2004. **112**(3): p. 224-30.
188. Huumonen, S., *Radiographic manifestations of apical periodontitis*. *Endodontic Practice Today*, 2009. **3**(2).
189. Huumonen, S. and D. Ørstavik, *Radiographic follow-up of periapical status after endodontic treatment of teeth with and without apical periodontitis*. *Clin Oral Investig*, 2013. **17**(9): p. 2099-104.
190. Sathorn, C., P. Parashos, and H.H. Messer, *Effectiveness of single- versus multiple-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis*. *Int Endod J*, 2005. **38**(6): p. 347-55.
191. Eckerbom, M., J.E. Andersson, and T. Magnusson, *Interobserver variation in radiographic examination of endodontic variables*. *Endod Dent Traumatol*, 1986. **2**(6): p. 243-6.
192. Elsayed, R.O., N.H. Abu-Bakr, and Y.E. Ibrahim, *Quality of root canal treatment performed by undergraduate dental students at the University of Khartoum, Sudan*. *Aust Endod J*, 2011. **37**(2): p. 56-60.
193. Alsaleh, I., et al., *Is endodontic treatment performed under general anaesthesia technically acceptable?* *Clin Oral Investig*, 2012. **16**(6): p. 1599-606.
194. Heling, B. and D. Kischinovsky, *Factors affecting successful endodontic therapy*. *J Br Endod Soc*, 1979. **12**(2): p. 83-9.
195. Mostert, V. and C. Jonker, *An audit of root canal treatments completed by students and dentists at an academic hospital*. *The Journal of the Dental Association of South Africa = Die Tydskrif van die Tandheelkundige Vereniging van Suid-Afrika*, 2016. **71**: p. 178-178.
196. Adenubi, J. and D. Rule, *Success rate for root fillings in young patients. A retrospective analysis of treated cases*. *British dental journal*, 1976. **141**(8): p. 237-241.
197. Touré, B., et al., *Prevalence and technical quality of root fillings in Dakar, Senegal*. *Int Endod J*, 2008. **41**(1): p. 41-9.
198. Eriksen, H.M., E. Bjertness, and D. Orstavik, *Prevalence and quality of endodontic treatment in an urban adult population in Norway*. *Endod Dent Traumatol*, 1988. **4**(3): p. 122-6.
199. Penesis, V.A., et al., *Outcome of one-visit and two-visit endodontic treatment of necrotic teeth with apical periodontitis: a randomized controlled trial with one-year evaluation*. *J Endod*, 2008. **34**(3): p. 251-7.
200. Holden, D.T., et al., *Clinical outcomes of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices*. *J Endod*, 2008. **34**(7): p. 812-7.
201. Barnett, C.W., et al., *Interobserver and Intraobserver Reliability of Cone-beam Computed Tomography in Identification of Apical Periodontitis*. *J Endod*, 2018. **44**(6): p. 938-940.

202. Caplan, D.J., et al., *Relationship between number of proximal contacts and survival of root canal treated teeth*. Int Endod J, 2002. **35**(2): p. 193-9.
203. Salvi, G.E., et al., *Clinical evaluation of root filled teeth restored with or without post-and-core systems in a specialist practice setting*. Int Endod J, 2007. **40**(3): p. 209-15.
204. Endodontists., A.A.o. *AAE Consensus Conference Recommended Diagnostic Terminology*  
<https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2017/07/aaeconsensusconferencerecommendeddiagnosticterminology.pdf>. 2009 Last accessed on: 15. Dezember 2021.
205. Oliet, S., *Single-visit endodontics: a clinical study*. J Endod, 1983. **9**(4): p. 147-52.
206. Kayahan, M.B., et al., *Periapical health related to the type of coronal restorations and quality of root canal fillings in a Turkish subpopulation*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2008. **105**(1): p. e58-62.
207. Fong, W., et al., *An audit on technical quality of root fillings performed by undergraduate students*. Int Endod J, 2018. **51 Suppl 3**: p. e197-e203.
208. Barrieshi-Nusair, K.M., M.A. Al-Omari, and A.S. Al-Hiyasat, *Radiographic technical quality of root canal treatment performed by dental students at the Dental Teaching Center in Jordan*. J Dent, 2004. **32**(4): p. 301-7.
209. Reit, C. and T. Kvist, *Endodontic retreatment behaviour: the influence of disease concepts and personal values*. Int Endod J, 1998. **31**(5): p. 358-63.
210. Reit, C., *Decision strategies in endodontics: on the design of a recall program*. Endod Dent Traumatol, 1987. **3**(5): p. 233-9.
211. Segura-Egea, J.J., J. Martín-González, and L. Castellanos-Cosano, *Endodontic medicine: connections between apical periodontitis and systemic diseases*. Int Endod J, 2015. **48**(10): p. 933-51.
212. Dugas, N.N., et al., *Periapical health and treatment quality assessment of root-filled teeth in two Canadian populations*. Int Endod J, 2003. **36**(3): p. 181-92.
213. Waltimo, T.M., et al., *Clinical performance of 3 endodontic sealers*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2001. **92**(1): p. 89-92.
214. Zanini, M., et al., *Revisiting Orstavik's PAI score to produce a reliable and reproducible assessment of the outcomes of endodontic treatments in routine practice*. Eur J Dent Educ, 2020.
215. Kerosuo, E. and D. Orstavik, *Application of computerised image analysis to monitoring endodontic therapy: reproducibility and comparison with visual assessment*. Dentomaxillofac Radiol, 1997. **26**(2): p. 79-84.
216. Orstavik, D., *Reliability of the periapical index scoring system*. Scand J Dent Res, 1988. **96**(2): p. 108-11.
217. Lambrianidis, T., *Observer variations in radiographic evaluation of endodontic therapy*. Endod Dent Traumatol, 1985. **1**(6): p. 235-41.
218. Bender, I.B., *Factors influencing the radiographic appearance of bony lesions*. J Endod, 1982. **8**(4): p. 161-70.
219. Cvek, M., *Treatment of non-vital permanent incisors with calcium hydroxide. I. Follow-up of periapical repair and apical closure of immature roots*. Odontol Revy, 1972. **23**(1): p. 27-44.
220. Heling, I., et al., *The outcome of teeth with periapical periodontitis treated with nonsurgical endodontic treatment: a computerized morphometric study*. Quintessence Int, 2001. **32**(5): p. 397-400.

221. van der Stelt, P.F., *Experimentally produced bone lesions*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1985. **59**(3): p. 306-12.
222. Schwartz, S.F. and J.K. Foster, Jr., *Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions. I*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1971. **32**(4): p. 606-12.
223. Lee, S.J. and H. Messer, *Radiographic appearance of artificially prepared periapical lesions confined to cancellous bone*. Int Endod J, 1986. **19**(2): p. 64-72.
224. Estrela, C., et al., *Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis*. J Endod, 2008. **34**(3): p. 273-9.
225. Garcia de Paula-Silva, F.W., et al., *Outcome of root canal treatment in dogs determined by periapical radiography and cone-beam computed tomography scans*. J Endod, 2009. **35**(5): p. 723-6.
226. Patel, S., et al., *European Society of Endodontology position statement: the use of CBCT in endodontics*. Int Endod J, 2014. **47**(6): p. 502-4.
227. Yokota, E.T., et al., *Interpretation of periapical lesions using RadioVisioGraphy*. J Endod, 1994. **20**(10): p. 490-4.
228. Kullendorff, B., M. Nilsson, and M. Rohlin, *Diagnostic accuracy of direct digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions: overall comparison between conventional and direct digital radiography*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1996. **82**(3): p. 344-50.
229. Krug, R., et al., *When and how do endodontic specialists use cone-beam computed tomography?* Aust Endod J, 2019. **45**(3): p. 365-372.
230. *Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology*. Int Endod J, 2006. **39**(12): p. 921-30.
231. Vukadinov, T., et al., *Technical quality of root fillings performed by undergraduate students: a radiographic study*. ScientificWorldJournal, 2014. **2014**: p. 751274.
232. Talabani, R., et al., *Quality of Root Canal Fillings Performed by Undergraduate Dental Students in the School of Dentistry, University of Sulaimani*. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS), 2015. **14**: p. 105-109.
233. Habib, A.A., et al., *Radiographic Assessment of the Quality of Root Canal Fillings Performed by Senior Dental Students*. Eur Endod J, 2018. **3**(2): p. 101-106.
234. Hayes, S.J., et al., *An audit of root canal treatment performed by undergraduate students*. Int Endod J, 2001. **34**(7): p. 501-5.
235. Qualtrough, A.J., J.M. Whitworth, and P.M. Dummer, *Preclinical endodontology: an international comparison*. Int Endod J, 1999. **32**(5): p. 406-14.
236. Tanalp, J., E.P. Güven, and I. Oktay, *Evaluation of dental students' perception and self-confidence levels regarding endodontic treatment*. Eur J Dent, 2013. **7**(2): p. 218-224.
237. Hou, B.X., *[Role of the operating microscope in diagnosis and treatment of endodontic diseases]*. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi, 2018. **53**(6): p. 386-391.
238. Dummer, P.M., *Comparison of undergraduate endodontic teaching programmes in the United Kingdom and in some dental schools in Europe and the United States*. Int Endod J, 1991. **24**(4): p. 169-77.
239. *Approbationsordnung für Zahnärzte und Zahnärztinnen (ZApprO) §7 Praktische Übungen*  
<https://www.gesetze-im-internet.de/zappro/7.html>. Last accessed on: 22. Februar 2022.

240. Cheung, G.S. and C.S. Liu, *A retrospective study of endodontic treatment outcome between nickel-titanium rotary and stainless steel hand filing techniques*. J Endod, 2009. **35**(7): p. 938-43.
241. Sonntag, D., S. Delschen, and V. Stachniss, *Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students*. Int Endod J, 2003. **36**(11): p. 715-23.
242. Kleier, D.J. and R. Averbach, *Comparison of clinical outcomes using a nickel titanium rotary or stainless steel hand file instrumentation technique*. Compend Contin Educ Dent, 2006. **27**(2): p. 87-91; quiz 92, 112.
243. Palmer, R.M., et al., *Mechanisms of action of environmental factors--tobacco smoking*. J Clin Periodontol, 2005. **32 Suppl 6**: p. 180-95.
244. Duncan, H.F. and T.R. Pitt Ford, *The potential association between smoking and endodontic disease*. Int Endod J, 2006. **39**(11): p. 843-54.
245. Rodriguez, F.R., et al., *Is smoking a predictor of apical periodontitis?* Clin Oral Investig, 2013. **17**(8): p. 1947-55.
246. Kirkevang, L.L., et al., *Risk factors for developing apical periodontitis in a general population*. Int Endod J, 2007. **40**(4): p. 290-9.
247. Britto, L.R., et al., *Periradicular radiographic assessment in diabetic and control individuals*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2003. **96**(4): p. 449-52.
248. Fouad, A.F. and J. Burleson, *The effect of diabetes mellitus on endodontic treatment outcome: data from an electronic patient record*. J Am Dent Assoc, 2003. **134**(1): p. 43-51; quiz 117-8.
249. Ferreira, M.M., E. Carrilho, and F. Carrilho, *[Diabetes mellitus and its influence on the success of endodontic treatment: a retrospective clinical study]*. Acta Med Port, 2014. **27**(1): p. 15-22.
250. López-López, J., et al., *Periapical and endodontic status of type 2 diabetic patients in Catalonia, Spain: a cross-sectional study*. J Endod, 2011. **37**(5): p. 598-601.
251. Falk, H., A. Hugoson, and H. Thorstensson, *Number of teeth, prevalence of caries and periapical lesions in insulin-dependent diabetics*. Scand J Dent Res, 1989. **97**(3): p. 198-206.
252. Bender, I.B., S. Seltzer, and J. Freedland, *THE RELATIONSHIP OF SYSTEMIC DISEASES TO ENDODONTIC FAILURES AND TREATMENT PROCEDURES*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1963. **16**: p. 1102-15.
253. Sánchez-Domínguez, B., et al., *Glycated hemoglobin levels and prevalence of apical periodontitis in type 2 diabetic patients*. J Endod, 2015. **41**(5): p. 601-6.
254. Cheraskin, E. and W.M. Ringsdorf, Jr., *The biology of the endodontic patient. 3. Variability in periapical healing and blood glucose*. J Oral Med, 1968. **23**(3): p. 87-90.
255. Segura-Egea, J.J., et al., *Endodontics and diabetes: association versus causation*. Int Endod J, 2019. **52**(6): p. 790-802.
256. Hill, A.B., *THE ENVIRONMENT AND DISEASE: ASSOCIATION OR CAUSATION?* Proc R Soc Med, 1965. **58**(5): p. 295-300.
257. Segura-Egea, J.J., et al., *Hypertension and dental periapical condition*. J Endod, 2010. **36**(11): p. 1800-4.
258. Liljestrand, J.M., et al., *Association of Endodontic Lesions with Coronary Artery Disease*. J Dent Res, 2016. **95**(12): p. 1358-1365.
259. Aminoshariae, A., et al., *Association between Systemic Diseases and Endodontic Outcome: A Systematic Review*. J Endod, 2017. **43**(4): p. 514-519.
260. Mindiola, M.J., et al., *Endodontic treatment in an American Indian population: a 10-year retrospective study*. J Endod, 2006. **32**(9): p. 828-32.

261. Wang, C.H., et al., *Impact of diabetes mellitus, hypertension, and coronary artery disease on tooth extraction after nonsurgical endodontic treatment*. J Endod, 2011. **37**(1): p. 1-5.
262. Khalighinejad, N., et al., *Association between Systemic Diseases and Apical Periodontitis*. J Endod, 2016. **42**(10): p. 1427-34.
263. Fabricius, L., et al., *Influence of residual bacteria on periapical tissue healing after chemomechanical treatment and root filling of experimentally infected monkey teeth*. Eur J Oral Sci, 2006. **114**(4): p. 278-85.
264. Sabeti, M.A., et al., *Healing of apical periodontitis after endodontic treatment with and without obturation in dogs*. J Endod, 2006. **32**(7): p. 628-33.
265. Peak, J., et al., *Endodontics The outcome of root canal treatment. A retrospective study within the armed forces (Royal Air Force)*. British Dental Journal - BRIT DENT J, 2001. **190**: p. 140-144.
266. Augsburger, R.A. and D.D. Peters, *Radiographic evaluation of extruded obturation materials*. J Endod, 1990. **16**(10): p. 492-7.
267. Halse, A. and O. Molven, *Overextended gutta-percha and Kloroperka N-O root canal fillings. Radiographic findings after 10-17 years*. Acta Odontol Scand, 1987. **45**(3): p. 171-7.
268. Aminoshariae, A. and J.C. Kulild, *The impact of sealer extrusion on endodontic outcome: A systematic review with meta-analysis*. Aust Endod J, 2020. **46**(1): p. 123-129.
269. Ricucci, D., et al., *Apically Extruded Sealers: Fate and Influence on Treatment Outcome*. J Endod, 2016. **42**(2): p. 243-9.
270. Kirkevang, L.L., et al., *A comparison of the quality of root canal treatment in two Danish subpopulations examined 1974-75 and 1997-98*. Int Endod J, 2001. **34**(8): p. 607-12.
271. Pishipati, V. and J. Moorthy, *Radiographic assessment of quality of root fillings performed by undergraduate students in a Malaysian Dental School*. Saudi Endodontic Journal, 2013. **3**: p. 77.
272. Hale, R., et al., *Comparative analysis of carrier-based obturation and lateral compaction: a retrospective clinical outcomes study*. Int J Dent, 2012. **2012**: p. 954675.
273. Dummer, P.M., et al., *A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators*. Int Endod J, 1994. **27**(1): p. 32-8.
274. Aqrabawi, J., *Outcome of endodontic treatment of teeth filled using lateral condensation versus vertical compaction (Schilder's technique)*. The journal of contemporary dental practice, 2006. **7** 1: p. 17-24.
275. Camilleri, J., *Sealers and warm gutta-percha obturation techniques*. J Endod, 2015. **41**(1): p. 72-8.
276. Schilder, H., *Filling Root Canals in Three Dimensions*. J Endod, 2006. **32**: p. 281-90.
277. Chu, C.H., E.C. Lo, and G.S. Cheung, *Outcome of root canal treatment using Thermafil and cold lateral condensation filling techniques*. Int Endod J, 2005. **38**(3): p. 179-85.
278. Lipski, M., *[Studies comparing the efficacy of root canal filling with gutta-percha lateral condensation and Thermafil obturators]*. Ann Acad Med Stetin, 2000. **46**: p. 317-30.
279. Emmanuel, S., et al., *An In-Vitro Evaluation and Comparison of Apical Sealing Ability of Three Different Obturation Technique - Lateral Condensation, Obtura II, and Thermafil*. J Int Oral Health, 2013. **5**(2): p. 35-43.

280. Ricucci, D., K. Gröndahl, and G. Bergenholtz, *Periapical status of root-filled teeth exposed to the oral environment by loss of restoration or caries*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2000. **90**(3): p. 354-9.
281. Caplan, D.J. and J.A. Weintraub, *Factors related to loss of root canal filled teeth*. J Public Health Dent, 1997. **57**(1): p. 31-9.
282. Tan, L., et al., *Survival of root filled cracked teeth in a tertiary institution*. Int Endod J, 2006. **39**(11): p. 886-9.

## 9. Anhang

### 9.1 Abkürzungsverzeichnis

ESE	European Society of Endodontology
NaOCl	Natriumhypochlorit
CHX	Chlorhexidin
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
OPT	Orthopantomogramm
PSA	Panoramaschichtaufnahme
DVT	digitale Volumentomografie
AAE	American Association of Endodontists
FOV	Field of View
PAI	periapikaler Index
PRI	probability Index
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde
WSR	Wurzelspitzenresektion
TST	Taschensondierungstiefe
GIZ	Glasionomerzement
ZApprO	Approbationsordnung für Zahnärzte und Zahnärztinnen

### 9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Studienübersicht zur Erfolgsrate/ Überlebensrate endodontischer Behandlungen.....	25
Tabelle 2:	Studienübersicht zur Erfolgsrate/ Überlebensrate studentisch durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen .....	26
Tabelle 3:	Übersicht zur Gesamtqualität bemessen an der Wurzelfülllänge und Homogenität .....	43
Tabelle 4:	Übersicht der Kaplan-Maier-Überlebensanalyse in Abhängigkeit der untersuchten Parameter inklusive der Ergebnisse des Log-Rank-Tests.....	61

### 9.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beurteilung der Länge der Wurzelkanalfüllung.....	17
Abbildung 2:	Beurteilung der Homogenität der Wurzelkanalfüllung.....	18
Abbildung 3:	Darstellung des PAI nach D. Ørstavik .....	20
Abbildung 4:	Darstellung des PAI anhand von Röntgenbildern aus der Datenbank .....	21
Abbildung 5:	Flowchart der Studie .....	30
Abbildung 6:	Datenbankmaske zur Erfassung der Recall-Untersuchung .....	34
Abbildung 7:	Altersverteilung des Patientenkollektivs.....	40
Abbildung 8:	Patientenverteilung hinsichtlich anamnestischer Angaben.....	41
Abbildung 9:	Verteilung der Zähne hinsichtlich der gestellten Diagnose .....	41
Abbildung 10:	Beurteilung der Wurzelfülllänge.....	44
Abbildung 11:	Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik .....	45
Abbildung 12:	Zusammenhang zwischen der Wurzelfülllänge und der Fülltechnik .....	45
Abbildung 13:	Korrelation zwischen der Wurzelfülllänge und dem Zahntyp .....	46
Abbildung 14:	Korrelation zwischen der Homogenität und dem Zahntyp .....	47
Abbildung 15:	Beurteilung des periapikalen Status zum Zeitpunkt der Diagnosestellung anhand des PAI.....	48
Abbildung 16:	Beurteilung des periapikalen Status mittels PAI bei der Recall-Untersuchung.....	48
Abbildung 17:	Vergleich des PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung und der Recall-Untersuchung.....	49
Abbildung 18:	Darstellung der Gradveränderung des PAI .....	50
Abbildung 19:	PAI in Abhängigkeit vom Patientenalter .....	51
Abbildung 20:	Verteilung des periapikalen Index in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	52
Abbildung 21:	Korrelation zwischen PAI und Diabetes .....	52
Abbildung 22:	PAI in Abhängigkeit vom Zahntyp .....	53
Abbildung 23:	PAI in Abhängigkeit von der Diagnosestellung.....	54
Abbildung 24:	Korrelation zwischen dem initialen PAI und dem PAI der Nachuntersuchung.....	55
Abbildung 25:	Zusammenhang zwischen PAI und Wurzelfülllänge .....	56
Abbildung 26:	Korrelation zwischen dem PAI und der angewandten Fülltechnik .....	57
Abbildung 27:	Verteilung des Recall-Abbruches und der Extraktionsgründe.....	58
Abbildung 28:	Kaplan-Maier-Überlebenswahrscheinlichkeit über den Beobachtungszeitraum von fünf Jahren .....	59
Abbildung 29:	Überlebensrate in Abhängigkeit vom Patientenalter.....	61

Abbildung 30:	Überlebensrate der endodontisch behandelten Zähne in Abhängigkeit vom Zahntyp .....	63
Abbildung 31:	Überlebensrate in Abhängigkeit von der gestellten Diagnose .....	64
Abbildung 32:	Überlebenswahrscheinlichkeit der wurzelkanalbehandelten Zähne in Abhängigkeit vom PAI zum Zeitpunkt der Diagnosestellung .....	65
Abbildung 33:	Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Wurzelfülllänge ..	66
Abbildung 34:	Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Fülltechnik .....	67
Abbildung 35:	Erfolgsrate der endodontischen Behandlungen anhand des PAI .....	93

## **10. Danksagung**

Herrn Prof. Dr. med. dent. R. Hickel, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie möchte ich herzlich für die Überlassung des Themas und für die Erlaubnis, diese Arbeit in seiner Klinik durchführen zu dürfen, danken.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. dent. C. Diegritz für die jederzeit gewährte fachliche und menschliche Unterstützung. Vielen Dank für Ihr Engagement, für die zahlreichen kollegialen Gespräche bei allen Fragen und die Bereitstellung der Endo-Datenbank.

Für die Bereitstellung der Endo-Datenbank sowie für die Hilfe bei der statistischen Datenanalyse möchte ich Frau Dr. med. dent. K. Heck danken.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie – meinen Eltern, meinem Bruder und meinen Großeltern – bedanken. Insbesondere meinen Eltern gebührt mein Dank, da sie mich in meinem Werdegang sowohl persönlich als auch akademisch auf individuelle Art und Weise und von ganzen Herzen unterstützten.

## 11. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Erfolgsraten von Wurzelkanalbehandlungen in der studentischen Ausbildung: Eine prospektive Kohortenstudie der Semester 2013 – 2017“

selbstständig angefertigt habe, mich außer der angegebenen Quellen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form an einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 13.12.2022

Eileen Noa Kaspi

Eileen Noa Kaspi