

Aus der Poliklinik für Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
(Prof. Dr. med. dent. A. Wiegand)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung und Prävalenz periapikaler Parodontitiden

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Joséfine Patricia Hölzel

aus

Eschwege

Göttingen 2022

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer/in: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. med. dent. S. Rinke

Prüfungskommission

Referent/in: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

Ko-Referent/in:

Drittreferent/in:

Datum der mündlichen Prüfung:

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung und Prävalenz periapikaler Parodontitiden" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den

.....

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Ziele der Arbeit.....	2
1.2 Literaturübersicht	3
1.2.1 Studien zur Häufigkeit und Qualität endodontischer Versorgungen	3
1.2.2 Problematik der Auswertung von Röntgenaufnahmen	27
1.2.3 Kriterien zur Beurteilung von Erfolg und Misserfolg in der Endodontie.....	34
1.2.4 Indizes in der Endodontie	35
2 Material und Methode	39
2.1 Voruntersuchung und Untersucher*innenkalibrierung	39
2.2 Hauptuntersuchung.....	39
2.2.1 Untersuchungsgut.....	39
2.2.2 Untersucher*innen	39
2.2.3 Vorgehen	40
2.2.4 Kriterien und Merkmalsausprägungen	40
2.3 Ermittlung des endodontischen Behandlungsbedarfs.....	42
2.3.1 Behandlungsbedarf an Zähnen mit oder ohne Wurzelkanalbehandlung	43
2.3.2 Behandlungsbedarf von Zähnen mit Wurzelkanalbehandlung	43
2.3.3 Maximaler und minimaler Behandlungsbedarf.....	43
2.4 Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Bewertungen	44
2.5 Statistische Auswertung.....	44
3 Ergebnisse	45
3.1 Patient*innenbezogene Befunde	45
3.1.1 Alters- und Geschlechterverteilung	45
3.1.2 Zahnzahl	46
3.1.3 Apikale Parodontitis	48
3.1.4 Wurzelkanalbehandelte Zähne	50
3.2 Zahnbezogene Befunde.....	50
3.2.1 Periapikaler Status nicht-wurzelkanalbehandelter Zähne	50
3.2.2 Zähne mit Befund "Caries profunda"	50
3.2.3 Häufigkeit von Wurzelkanalfüllungen und periapikaler Status wurzelkanalbehandelter Zähne	51
3.2.4 Homogenität und Länge der Wurzelkanalfüllungen	52
3.2.5 Wurzelspitzenresektionen.....	53
3.2.6 Sonstiges	53

3.3	Ermittlung des Behandlungsbedarfs	54
3.3.1	Endodontischer Behandlungsbedarf bei wurzelkanalbehandelten Zähnen	54
3.3.2	Behandlungsbedarf bei nicht wurzelkanalbehandelten Zähnen	55
3.4	Reproduzierbarkeit der Bewertungen	55
3.4.1	Interindividuelle Übereinstimmung	55
3.4.2	Intraindividuelle Übereinstimmung	56
4	Diskussion	57
4.1	Material und Methode	57
4.1.1	Studiendesign	57
4.1.2	Kriteriendefinition, Untersucher*innenkalibrierung und Grenzen der Untersuchung.....	58
4.2	Ergebnisse	60
4.2.1	Patient*innenbezogene Befunde	60
4.2.2	Zahnbezogene Befunde.....	64
5	Zusammenfassung	73
6	Summary.....	75
7	Anhang.....	77
8	Literaturverzeichnis	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Boxplot-Diagramm Zahnanzahl der Altersgruppen.....	48
Abbildung 2: Patient*innen mit mindestens einer Parodontitis apicalis nach Alter und Geschlecht.....	49
Abbildung A 1: Bewertungsbogen Hauptuntersuchung.....	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Internationale Studien zur Prävalenz apikaler Parodontitiden und endodontischer Versorgung.....	24
Tabelle 2:	Interpretation von Cohens Kappa nach Landis und Koch (1977) ...	33
Tabelle 3:	Bewertungen der Apikalregion nach Molven (1976)	36
Tabelle 4:	Periapical Probability Index (PRI) nach Reit und Gröndahl (1983) .	36
Tabelle 5:	Bewertungssystem apikaler Parodontitiden nach Petersson et al. (1984).....	37
Tabelle 6:	Bewertungen der Qualität von Wurzelkanalfüllungen nach Bergström et al. (1987)	38
Tabelle 7:	Alters- und Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer*innen .	45
Tabelle 8:	Durchschnittliche Zahnzahl.....	46
Tabelle 9:	Patient*innen mit mindestens einer Parodontitis apicalis nach Alter und Geschlecht	49
Tabelle 10:	PRI bei nicht-wurzelkanalgefüllten Zähnen.....	50
Tabelle 11:	Verteilung und Anzahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung	51
Tabelle 12:	PRI bei wurzelkanalgefüllten Zähnen	52
Tabelle 13:	Länge der Wurzelkanalfüllungen	53
Tabelle 14:	Qualität der Wurzelkanalfüllungen	53
Tabelle 15:	PRI bei wurzelspitzenresezierten Zähnen	53
Tabelle 16:	Behandlungsbedarf bei wurzelkanalgefüllten Zähnen	54
Tabelle 17:	Apikale Parodontitiden an wurzelkanalgefüllten Zähnen in Studien aus Deutschland	66

Abkürzungsverzeichnis

AP	Apikale Parodontitis
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DMFT	<i>decayed, missed and filled teeth</i>
DVT	Digitale Volumentomographieaufnahme
ESE	European Society of Endodontology
IQA	Interquartilsabstand
KZBV	Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung
OPG	Orthopantomogrammaufnahme
OR	<i>odds ratio</i>
PAI	Periapical Index
PRI	Periapical Probability Index
WF	Wurzelkanalfüllung
WSR	Wurzelspitzenresektion

1 Einleitung

Eines der primären Ziele der zahnärztlichen Tätigkeit ist die umfassende Gesunderhaltung der Zahnhartsubstanzen und der Zahnpulpa. Ist die Pulpa des Zahnes irreversibel erkrankt oder nekrotisch zerfallen, können Entzündung und Infektion auf den periapikalen Knochen übergreifen (Parodontitis apicalis). Die Wurzelkanalbehandlung stellt dann häufig die einzige Möglichkeit dar, den Zahn langfristig zu erhalten (DGZMK und DGZ 2005).

Nach Angaben des Jahrbuchs 2019 der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung entfallen im Jahre 2018 etwa 6,6% der Gesamtpunkte aus konservierender und chirurgischer Behandlung auf endodontische Leistungen, zusammengesetzt aus der Exstirpation der vitalen Pulpa mit 1,0%, der Wurzelkanalpräparation mit 3,0%, der medikamentösen Einlage mit 1,2% und der Wurzelkanalfüllung mit 1,4%. Damit gehören endodontische Leistungen zu den am häufigsten abgerechneten Positionen im Jahre 2018 (KZBV 2019).

In der zahnärztlichen Praxis ist eine Diskrepanz zwischen der tatsächlichen Kostenübernahme durch die gesetzlichen Krankenkassen und dem potentiellen Leistungsumfang der Zahnärzt*innen zu beobachten. Die Krankenversicherungen honorieren maximal drei Termine zur medikamentösen Einlage und eine zweckmäßige, wirtschaftliche Wurzelkanalfüllung. Elektrische Widerstandsmessung zur Lokalisierung des physiologischen Apex und somit zur Längenbestimmung, maschinelle Präparation der Wurzelkanäle mit Nickel-Titan-Instrumenten, thermoplastische Fülltechniken oder der Einsatz von Vergrößerungshilfen werden nicht übernommen. Hier müssen häufig Privatvereinbarungen mit der/m Patient*in getroffen werden, um eine adäquate Wurzelkanalbehandlung unter Erhalt der Wirtschaftlichkeit abschließen zu können. Weiterhin besteht eine Diskrepanz zwischen dem, was in den Universitäten gelehrt wird und der tatsächlichen Umsetzung im Praxisalltag. So wird beispielsweise die Verwendung von Kofferdam als großer Vorteil in der Endodontie gelehrt und ihr Nutzen durch Studien belegt (Lin et al. 2014), von den meisten Zahnärzten jedoch abgelehnt. So gaben Zahnärzte in einer Umfrage der Universität Mainz im Jahr 2006 an, dass 37,9% von ihnen nie, 42,9% gelegentlich und nur 19,2% immer bei endodontischen Behandlungen Kofferdam verwenden (Tekyatan et al. 2006).

Erfolg und Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung lassen sich neben klinischen Parametern wie Schmerz, Schwellung, Rötung, Fistelung oder Funktionsstörungen vor allem röntgenologisch kontrollieren. Hierbei soll neben der Qualität der endodontischen Versorgung vor allem das periapikale Gewebe bewertet werden, um die biologische Akzeptanz der durchgeführten Therapie erkennen zu können. Durch die Röntgendiagnostik können weiterhin Rückschlüsse auf die Notwendigkeit endodontischer Maßnahmen gezogen werden, da eine Pulpanekrose häufig bereits nach kurzer Zeit zu einer röntgenologisch erkennbaren Strukturveränderung des periapikalen Gewebes führt.

1.1 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Evaluation von Röntgenaufnahmen eines selektierten Patient*innengutes Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung sowie die Prävalenz der Parodontitis apicalis an endodontisch unbehandelten und behandelten Zähnen zu ermitteln. Es handelt sich um eine retrospektive Auswertungsstudie von 500 Orthopantomogrammen aus der Röntgenabteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen.

Ein Abgleich der gewonnenen Daten mit denen vergleichbarer früherer eigener Studien (Heppeler und Hülsmann 2010; Hülsmann et al. 1991; Hülsmann und Snezna 1998) soll Aufschluss über mögliche Veränderungen im endodontischen Status (Behandlungsqualität, Behandlungsbedarf) und die Möglichkeit eines Vergleichs mit den Ergebnissen internationaler Studien geben.

Folgende Parameter sollen aus den Krankenunterlagen erfasst werden, um eine mögliche quantitative oder qualitative Entwicklung der endodontischen Versorgung festzustellen: Geschlecht, Alter, Anzahl fehlender Zähne, Anzahl endodontisch behandelter Zähne und Art der Behandlung (Wurzelkanalbehandlung, Wurzelspitzenresektion, Amputation usw.), Anzahl und Lokalisation apikaler Aufhellungen im Röntgenbild, Länge und Homogenität der Wurzelkanalfüllungen.

Die Bewertung der periapikalen Region aller Zähne soll anhand des Periapical Probability Index (PRI) nach Reit und Gröndahl (1983) erfolgen.

Auf der Grundlage der erhobenen Befunde soll der entsprechende endodontische Behandlungsbedarf abgeleitet werden.

1.2 Literaturübersicht

1.2.1 Studien zur Häufigkeit und Qualität endodontischer Versorgungen

Zahlreiche epidemiologische Studien über den Umfang und die Qualität der endodontischen Versorgung und die Prävalenz der Parodontitis apicalis wurden in den letzten Jahrzehnten international durchgeführt und publiziert. Insbesondere in den skandinavischen Ländern ist eine große Anzahl solcher Studien zu finden, während sich die Datenlage für Deutschland erst in den letzten Jahren deutlich besserte. Epidemiologische Daten sind notwendig, um die Diskrepanz zwischen endodontischer Versorgung und dem vorliegenden Behandlungsbedarf zu ermitteln, entsprechende präventive Strategien zu entwickeln und die berufspolitischen Voraussetzungen zur Behebung von Defiziten zu schaffen.

Jedoch variieren die Studien aus den unterschiedlichen Ländern hinsichtlich der Prävalenz der Parodontitis apicalis bei wurzelkanalgefüllten Zähnen erheblich von 5,6% bei Aleksejuniene et al. (2000) bis zu 71,9% bei Al-Omari et al. (2011). Diese Diskrepanz ist teilweise in den Unterschieden von Alter und Geschlecht der Studienpopulationen, der Größe und der möglichen Verzerrung der Stichprobe sowie in den verschiedenen Methoden zur Bewertung der Parodontitis apicalis begründet. Um eine Vergleichbarkeit gewährleisten zu können, ist es daher von Nöten, Bewertungskriterien zu definieren. Da sich in der Endodontie jedoch bisher kein allgemein anerkannter Index durchgesetzt hat, ist die Vergleichbarkeit eingeschränkt. Im Folgenden werden einige Studien der internationalen Literatur der letzten 25 Jahre sowie für Deutschland auch weiter zurückliegende Untersuchungen vorgestellt und diskutiert. Ein Schwerpunkt liegt auf Studien, die über unterschiedliche Zeiträume den Verlauf des periapikalen Status untersuchten bzw. nachuntersuchten.

1.2.1.1 Skandinavien

1.2.1.1.1 Finnland

Huomonen et al. (2017) untersuchten in der im Jahre 2000 durchgeführten landesweiten finnischen Gesundheitsstudie die zahnmedizinischen Akten von 5.335 Personen im Alter zwischen 30 und 95 Jahren. Hierbei wurden die periapikale Region sowie die Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung von 120.635 Zähnen anhand von Orthopantomogrammen bewertet. Bei 7.986 Zähnen war eine Wurzelkanalbehandlung durchgeführt worden, wobei 52% als

suffizient und 48% als insuffizient bewertet wurden. Die technische Qualität der Wurzelkanalfüllungen beurteilten Huumonen et al. (2012) bei 71% der Frontzähne, bei 51% der Prämolaren und nur bei 25% der Molaren als ausreichend. Eine apikale Parodontitis wurde bei 27% der untersuchten Patient*innen festgestellt, wobei sie häufiger bei Patient*innen mit wurzelkanalbehandelten Zähnen als ohne diese auftrat (39% vs. 9%). Für das vermehrte Auftreten apikaler Parodontitiden bei Männern bei gleichzeitig mehr wurzelkanalbehandelten Zähnen weiblicher Patientinnen konnten Huumonen et al. (2017) keine Erklärung finden. Weiterhin verdoppelte sich das Risiko einer apikalen Parodontitis bei Vorhandensein einer insuffizienten Wurzelkanalfüllung sowohl bei Männern (OR (*odds ratio*) = 2.5) als auch bei Frauen (OR = 2,0).

1.2.1.1.2 Schweden

In einer Studie zur 20-Jahres-Überlebensrate wurzelkanalgefüllter Zähne und deren periapikalem Zustand wurden 104 Patient*innen untersucht. 1998 wurde eine klinische und radiologische Nachuntersuchung durchgeführt, um den Status von 449 Zähnen, die zu Studienbeginn (1977) als wurzelkanalgefüllt identifiziert worden waren, zu beurteilen. Zweihundertneunzig (65%) der wurzelkanalgefüllten Zähne überlebten bis zu der Nachuntersuchung, bei 49% der wurzelkanalgefüllten Zähne wurde ein gesunder periapikaler Status registriert. Von den wurzelkanalgefüllten Zähnen mit AP (apikaler Parodontitis) zu Studienbeginn waren 42% während des Beobachtungszeitraums unbehandelt geblieben und mehr als die Hälfte von ihnen (57%) verblieben auch nach 20 Jahren noch ohne Therapie (Petersson et al. 2016).

Eine weitere Studie ergab einen nach wie vor hohen Bedarf an endodontischer Behandlung für die schwedische Bevölkerung. Während dieser ebenfalls 20-jährigen Nachbeobachtungszeit wurde keine Verbesserung des apikalen Status festgestellt. Einhundertfünfzehn von ursprünglich 200 in Nordschweden lebende Patient*innen wurden nach 20 Jahren erneut röntgenologisch untersucht. Die Häufigkeit endodontisch behandelter Zähne stieg signifikant ($p < 0,05$) von 13,9% bei der ersten Untersuchung auf 17,7% nach 20 Jahren. Auch ein statistisch signifikanter Anstieg ($p < 0,05$) bei Zähnen mit apikaler Parodontitis von 3,3% auf 6,8% war festzustellen, obwohl sich die Qualität der Wurzelkanalfüllungen verbessert hatte (Eckerbom et al. 2007).

Frisk und Hakeberg (2005) begannen 1986 eine Untersuchung 1.462 weiblicher Patientinnen aus Göteborg über einen Zeitraum von 24 Jahren. Es wurden Patientinnen im Alter von 38, 46, 54 und 60 Jahren aufgenommen, wobei 1980 und 1992 neue Patientinnen im Alter von 38 und 50 Jahren zur Nachuntersuchung ergänzt wurden. Die Prävalenz periapikaler Aufhellungen stieg nicht mit dem Alter an, wahrscheinlich aufgrund von Wurzelkanalbehandlungen und Extraktionen. Die Daten zeigten jedoch, dass die Prävalenz von wurzelkanalbehandelten Zähnen und Zähnen mit AP für vergleichbare Alterskohorten während der 24-jährigen Nachbeobachtungszeit abnahm.

Aus Schweden berichtete eine weitere Studie über eine Verbesserung der technischen Qualität von Wurzelkanalfüllungen von 1973 (23,7%) bis 2003 (36,4%) ohne gleichzeitige Veränderung der Prävalenz apikaler Parodontitiden (24,5% gegenüber 24,6%) bei wurzelkanalgefüllten Zähnen (Frisk et al. 2008).

1.2.1.1.3 Dänemark

Razdan et al. (2022) verglichen den endodontischen und periapikalen Status zweier ähnlicher Studienpopulationen erwachsener Dän*innen, die von 1997 – 1998 und 2007 – 2009 untersucht wurden. Es zeigte sich ein abnehmender Trend in der Prävalenz von Wurzelfüllungen über das Jahrzehnt. Es gab keinen relativen Unterschied in der Häufigkeit von AP in wurzelgefüllten Zähnen, aber eine Zunahme der relativen Häufigkeit von AP in nicht wurzelkanalgefüllten Zähnen.

Im Jahr 2003 konnten 77% der ursprünglich 616 Patient*innen, die 1997 mit Orthopantomogrammen untersucht worden waren, erneut geröntgt werden. Während die Zahl apikaler Aufhellungen an bereits wurzelkanalbehandelten Zähnen abnahm, erhöhten sich die Prävalenz wurzelkanalbehandelter Zähne und die der apikalen Parodontitiden (Kirkevang et al. 2006).

Bjørndal und Reit (2004) publizierten Ergebnisse zur jährlichen Häufigkeit von Wurzelkanalfüllungen, Zahnextraktionen und pulpabezogenen Eingriffen bei dänischen Erwachsenen im Zeitraum von 1977 bis 2003. Die jährliche Anzahl der gefüllten Wurzelkanäle stieg um 36% von 268.223 auf 364.867 an. Zahnbezogen entspricht dies einem Anstieg um 20% (von 160.119 auf 191.803). Für eine zunehmende Versorgung von Molaren spricht die Zunahme des Kanal- / Zahn-Verhältnisses wurzelkanalgefüllter Zähne von 1,67 auf 1,96. Zahnextraktionen

wurden dagegen weniger häufig durchgeführt, hier wurde die Zahl von 656.624 im Jahr 1977 auf 346.490 im Jahr 2003 mehr als halbiert.

Eine Untersuchung der Röntgenaufnahmen von 614 dänischen Patient*innen erfasste den periapikalen Status sowie die endodontische Versorgung von 15.984 Zähnen. Eine Wurzelkanalbehandlung wurde bei 773 Zähnen (4,8%) registriert, von denen 52,2% durch eine apikale Transluzenz auffielen. Insgesamt wurden an 538 Zähnen (3,4%) apikale Läsionen gezählt. Signifikant mehr apikale Aufhellungen wurden an Molaren (7,0%, $p < 0,01$) als an Prämolaren (2,8%) und Frontzähnen (1,5%) festgestellt (Kirkevang et al. 2001).

1.2.1.1.4 Norwegen

Um die Entwicklung der Endodontie über 20 Jahre darzustellen, untersuchten Eriksen et al. (1995) ein Patient*innenkollektiv von 121 35-jährigen Bewohner*innen Oslos. Die Ergebnisse wurden mit denen vorangegangener Studien aus 1973 und 1984 verglichen. Die Häufigkeit apikaler Läsionen ging von 1,5% (1973), über 1,4% (1984) auf 0,6% (1993) der Zähne signifikant zurück. Die Anzahl der Patient*innen mit Wurzelkanalfüllungen nahm zunächst von 50% (1973) auf 53% (1984) zu, verringerte sich dann jedoch stark auf lediglich 24% (1993). Ebenso verhielt sich die Gesamtzahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllungen, die sich von 3,4% (1973 und 1984) auf 1,3% (1993) reduzierte.

In einem Zeitraum von 30 Jahren wurde eine gegensätzliche Entwicklung festgestellt. So nahm die Prävalenz apikaler Parodontitiden an wurzelkanalgefüllten Zähnen von 18% (1973) auf 43% (2003) zu. In den Jahren von 1993 bis 2003 konnte keine signifikante Veränderung der Häufigkeit apikaler Läsionen oder Wurzelkanalfüllungen festgestellt werden (Skudutyte-Rysstad und Eriksen 2006).

1.2.1.2 USA und Kanada

1.2.1.2.1 USA

Boykin et al. (2003) untersuchten in einer prospektiven Studie 873 Patient*innen über 48 Monate in Bezug auf die Inzidenz endodontischer Behandlungen. Endodontische Leistungen machten hierbei etwa 2% aller durchgeführten zahnärztlichen Eingriffe aus. Die Wurzelkanalbehandlung machte 94% der endodontischen Leistungen aus und war ungefähr gleichmäßig auf Frontzähne,

Prämolaren und Molaren verteilt. Revisionen und Wurzelspitzenresektionen ergaben zusammen etwa 3% der Leistungen.

In einer vorangegangenen Untersuchung schlussfolgerten Buckley und Spangberg (1995) aus den Ergebnissen die Notwendigkeit zur besseren Untersuchung von Einflüssen auf das Behandlungsergebnis. Von 5.272 untersuchten Zähnen waren 4,1% aller Zähne mit einer AP assoziiert. Insgesamt 5,5% aller Zähne wiesen Wurzelkanalfüllungen auf, davon waren 31,3% mit apikaler Gewebedestruktion. Wurzelkanalfüllungen von schlechterer Qualität waren stärker mit periapikalen Erkrankungen assoziiert als Obturationen von besserer Qualität. Es konnten nur 42% der Wurzelkanalfüllungen als technisch ausreichend angesehen werden.

1.2.1.2.2 Kanada

In einer kanadischen Studie unterschied man zwei Patient*innenkollektive anhand regionaler Unterschiede. In Saskatoon wurde die überwiegende Versorgung der Patient*innen durch nicht auf Endodontologie spezialisierte Zahnärzte angenommen, während in Toronto zahlreiche Endodontologen zur Verfügung standen. Der Anteil der Patient*innen mit endodontisch behandelten Zähnen war in Toronto signifikant höher als in Saskatoon (39% bzw. 26%, $p < 0,001$). Die Prävalenz von AP unterschied sich nicht signifikant zwischen den beiden Städten (51% in Saskatoon, 44% in Toronto) (Dugas et al. 2003).

1.2.1.3 Asien

1.2.1.3.1 Japan

Zur Bestimmung der Prävalenz periapikaler Radioluzenzen und endodontischer Behandlung wurden 672 erwachsene Patient*innen untersucht. Anhand von Einzelzahnaufnahmen konnte bei 1.329 (20,5%) von insgesamt 16.232 Zähnen eine erfolgte Wurzelkanalbehandlung erfasst werden. Von diesen zeigten 40% eine apikale Aufhellung (Tsuneishi et al. 2005).

1.2.1.3.2 Südkorea

Song et al. (2014) untersuchten im Zeitraum von Januar 2004 bis Februar 2012 265 Männer und 325 Frauen. Von den 1.030 endodontisch behandelten Zähnen

wurden 609 (59,1%) als periapikal gesund und 421 (40,9%) als periapikal krank eingestuft. Die Zahl der suffizient gefüllten Zähne betrug 367 (35,6%).

Für Südkorea liegt eine weitere Studie vor, in der der periapikale Status von 896 wurzelkanalbehandelten Zähnen mithilfe von Orthopantomogrammaufnahmen bewertet wurde. Fünf Prognosefaktoren für die Prävalenz einer apikalen Parodontitis wurden identifiziert: Länge und Dichte der Wurzelkanalfüllung, Vorhandensein einer Restauration sowie Vorhandensein nicht instrumentierter Wurzelkanäle. Der Autor schlussfolgerte, dass eine unzureichende Länge der Wurzelkanalfüllung der wichtigste Prädiktor für das Vorliegen einer apikalen Parodontitis zu sein schien (Kim 2010).

1.2.1.4 Südamerika

1.2.1.4.1 Brasilien

Anhand der Einzelzahnaufnahmen von 1.126 Patient*innen, die sich im Zeitraum von März 2000 bis Dezember 2010 vorstellten, wurden 25.292 Zähne untersucht. Der periapikale Status jedes Zahnes wurde mit dem periapikalen Index (PAI) beurteilt, wobei ein PAI von 1 und 2 als regelrecht, ein PAI von 3, 4 oder 5 als apikale Radioluzenz gewertet wurde. 1.754 Zähne waren bereits wurzelkanalbehandelt, wovon 293 Zähne eine apikale Parodontitis aufwiesen (16,7%). Insgesamt zeigten 1.993 der 25.292 Zähne eine periapikale Veränderung (7,9%). In dieser Untersuchung wurde eine höhere Prävalenz apikaler Parodontitiden bei weiblichen Studienteilnehmerinnen festgestellt (64%), diese waren jedoch mit rund 66% überrepräsentiert (Berlinck et al. 2015).

Eine Querschnittsstudie basierte auf einer Untersuchung der Röntgenaufnahmen zufällig ausgewählter Zähne von Patient*innen, die von Mitgliedern der Brazilian Dental Association endodontisch behandelt wurden. Insgesamt wurden 1.372 periapikale Röntgenaufnahmen endodontisch behandelter Zähne ausgewertet. Endodontische Behandlung und koronale Restaurationen wurden in 781 (56,9%) bzw. 881 (64,2%) Fällen als ausreichend eingestuft. Lag eine adäquate endodontische Behandlung vor, war die Prävalenz apikaler Parodontitiden gering (16,5%). Dieser Prozentsatz sank sogar weiter auf 12,1% in Fällen mit ausreichender Wurzelkanalfüllung und ausreichender koronaler Restauration. Zähne mit angemessener endodontischer Behandlung bei gleichzeitig schlechter koronaler Versorgung hatten eine AP-Prävalenz von 27,9%. Dieser Wert stieg bei Zähnen mit schlechter endodontischer Behandlung in Kombination mit einer

schlechten koronalen Restauration, auf 71,7%. Wenn eine schlechte endodontische Behandlung mit einer angemessenen koronalen Restauration versorgt wurde, betrug die AP-Prävalenz noch 61,8%. Das Vorhandensein von intrakanalären Stiften hatte keinen Einfluss auf die Häufigkeit apikaler Parodontitiden (Estrela et al. 2008).

Eine weitere Studie liegt aus dem Jahr 2005 vor. Das Patient*innenkollektiv bestand aus 478 Männern und 661 Frauen, die sich zwischen 1997 und 2002 zur Neuvorstellung in der zahnärztlichen Fakultät, Estácio de Sá University, Rio de Janeiro vorstellten. Es wurden 2.051 wurzelkanalgefüllte Zähne begutachtet. In dieser Studie wurde ebenfalls die Qualität der Wurzelkanalfüllung und der koronalen Versorgung mit dem Zustand des Periapex in Verbindung gebracht. Die Gesamterfolgsrate wurzelkanalgefüllter Zähne betrug 49,7%. Bei guter Wurzelkanalfüllung und ebenfalls guter koronaler Versorgung lag die Erfolgsrate bei 71%. Hingegen sank die Erfolgsrate auf 48%, wenn lediglich die Wurzelkanalfüllung als gut bewertet wurde. Bei guter koronaler Versorgung und gleichzeitig insuffizienter endodontischer Leistung erreichte diese Gruppe nur noch eine Erfolgsrate von 38% (Siqueira et al. 2005).

In einer Studie von Cavalcante et al. (2003) wurden die Röntgenaufnahmen von 300 Patient*innen ausgewertet. Eine Wurzelkanalbehandlung hatten bereits 453 (6,1%) der 7.375 untersuchten Zähne erfahren. Eine apikale Parodontitis wiesen 441 (6,0%) Zähne auf, 150 davon waren bereits endodontisch behandelt worden. Die technische Qualität wurde für 199 Zähne als gut, für 19 Zähne als überfüllt und für 235 als zu kurz gefüllt angegeben.

Eine weitere Studie aus Brasilien, die 200 digitale Volumentomografieaufnahmen (DVT) untersuchte, zeigte eine Prävalenz apikaler Parodontitiden von 59,3% der gefüllten Wurzelkanäle (Nascimento et al. 2018).

1.2.1.4.2 Kolumbien

1.086 wurzelkanalgefüllte Zähne wurden bei 688 Patient*innen in einer kolumbianischen Studie untersucht. Lediglich 33% dieser Zähne waren angemessen obturiert. Eine apikale Läsion wurde an 49% aller wurzelkanalgefüllten Zähne vorgefunden, 51% galten als apikal gesund (Moreno et al. 2013).

1.2.1.5 Osteuropa

1.2.1.5.1 Lettland

In die Studie in Lettland wurden Orthopantomogramme lettischer Erwachsener im Alter von 35 bis 44 Jahren angefertigt, die im Zeitraum 2004 bis 2008 zum ersten Mal eine private Zahnklinik besuchten. Insgesamt wurden 312 Patient*innen zufällig ausgewählt und der periapikale Zustand und die endodontische Behandlungsqualität untersucht. Zweihundertvierundzwanzig Patient*innen (72%) hatten einen oder mehrere Zähne mit apikaler Parodontitis (PAI 3 – 5) und 272 (87%) einen oder mehrere endodontisch behandelte Zähne. Von 7.065 bewerteten Zähnen waren 1.255 (18%) endodontisch behandelt. Nur 285 (23%) der wurzelkanalbehandelten Zähne waren mit vollständigen Wurzelkanalfüllungen versehen. Bei Zähnen mit vollständigen Füllungen wiesen nur 15% eine apikale Parodontitis auf, bei 342 Zähnen (35%) mit unvollständigen Wurzelkanalfüllungen wurde jedoch eine apikale Parodontitis festgestellt (Jersa und Kundzina 2013).

1.2.1.5.2 Weißrussland (Belarus)

Von 1.423 Patient*innen, älter als 15 Jahre, wurden im Jahr 2001 Orthopantomogramme zur Neuaufnahme angefertigt und ausgewertet. Eine apikale Parodontitis wurde bei 12% der Zähne erfasst, 20% der insgesamt 31.212 Zähne waren wurzelkanalbehandelt. Eine Korrelation zwischen minderwertiger Qualität der Wurzelkanalfüllung und dem Vorhandensein einer AP konnte festgestellt werden. Eine apikale Parodontitis lag somit an 45% aller wurzelkanalgefüllten Zähne vor. Auch in dieser Studie waren Molaren häufiger von einer apikalen Parodontitis betroffen als Prämolaren, Eck- oder Frontzähne (23% im Vergleich zu 14%, 4% und 6%) (Kabak und Abbott 2005).

1.2.1.5.3 Litauen

In der Untersuchung von 147 Patient*innen mit 3.892 Zähnen, waren 266 (6,1%) pulpotomiert und 320 (8,2%) der Zähne wurzelkanalbehandelt worden. Eine apikale Parodontitis wiesen 282 (7,2%) aller Zähne auf. Wurzelkanalgefüllt waren davon 114 Zähne (35%) und 117 (44%) von ihnen waren pulpotomiert worden (Sidaravicius et al. 1999). Basierend auf dieser Studie untersuchten Aleksejuniene et al. (2000) die Determinanten apikaler Gewebedestruktionen. Am ehesten konnten mangelhafte Mundhygiene und kariöse Zerstörung bereits wurzelkanalgefüllter Zähne in Betracht gezogen werden.

1.2.1.5.4 Kosovo

Von 4.131 untersuchten Zähnen betrug die Prävalenz der wurzelkanalgefüllten Zähne 2,3% und die apikaler Parodontitiden 12,3%. Von 95 gefüllten Zähnen waren 46,3% mit einem erkrankten Periapex assoziiert (Kamberi et al. 2011).

1.2.1.6 Südeuropa

1.2.1.6.1 Spanien

Jiménez-Pinzón et al. (2004) untersuchten anhand der Einzelzahnaufnahmen von 180 Patient*innen die Häufigkeit apikaler Parodontitiden und Wurzelkanalfüllungen. Insgesamt wurden 4.453 Zähne untersucht, von denen sich bei 186 (4,2%) eine AP darstellte. Die Gesamtzahl der endodontisch behandelten Zähne betrug 93 (2,1%), von denen 60 (64,5%) eine AP aufwiesen. Bei Molaren zeigte sich mit 5,5% eine höhere Prävalenz für apikale Parodontitiden als bei Prämolaren (4,5%) oder Frontzähnen (3,2%). Nur 34,4% der Wurzelkanäle waren aus technischer Sicht ausreichend obturiert. In einer Anschlussstudie wurde zusätzlich die Qualität der koronalen Restauration bewertet. Wenn sowohl Wurzelkanalfüllungen als auch koronale Restaurationen als ausreichend bewertet wurden, verringerte sich die Prävalenz der AP auf 31,3% (OR = 5,50; $p < 0,01$) (Segura-Egea et al. 2004).

Eine weitere Studie der oben genannten Autoren untersuchte die Prävalenz von AP bei Patient*innen mit Diabetes Typ 2. Im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche eine Prävalenz von 58% für AP aufwies, zeigten die Diabetiker ein signifikant erhöhtes Risiko für AP mit 81,3% (Segura-Egea et al. 2005). Ebenfalls stieg die Häufigkeit von apikalen Parodontitiden bei Raucher*innen an. Bei 74% der Raucher*innen und 41% der Nichtraucher*innen wurde eine apikale Parodontitis an mindestens einem Zahn festgestellt. Bei rauchenden Patient*innen fand man an 5% der Zähne eine apikale Parodontitis, während bei Nichtraucher*innen 3% der Zähne betroffen waren (Segura-Egea et al. 2008).

1.2.1.6.2 Portugal

Für Portugal sind gegenwärtig drei Untersuchungen zu finden. Correia-Sousa et al. (2015) stellten ein erhöhtes Risiko für das Auftreten apikaler Parodontitiden bei Raucher*innen und Patient*innen mit Diabetes mellitus fest. So wurden 421

Patient*innen mit insgesamt 10.540 Zähnen untersucht, darunter befanden sich 2,2% aller Zähne mit AP und 4,2% waren wurzelkanalgefüllt.

Zur Bestimmung der Prävalenz apikaler Parodontitiden wurden in einer weiteren Studie 179 Orthopantomogramme bewertet. Die Ergebnisse zeigten eine Häufigkeit apikaler Parodontitiden von 27%. Die Qualität der 69 untersuchten Wurzelkanalfüllungen erwies sich in 54% als unzureichend. Fünfzehn (22%) der endodontisch behandelten Zähne zeigten eine periapikale Aufhellung (Marques et al. 1998).

Die dritte Studie wurde mithilfe digitaler Volumentomografien durchgeführt. Die Untersuchung von 20.836 Zähnen der 1.160 Patient*innen ergab eine Gesamtprävalenz periapikaler Läsionen von 10,4% und eine Prävalenz wurzelkanalgefüllter Zähne von 55,5% der Patient*innen. Besonders neigten die mesiobukkalen Wurzeln der beiden ersten Molaren des Oberkiefers zu einem größeren Prozentsatz periapikaler Läsionen (Meirinhos et al. 2020)

1.2.1.6.3 Italien

Aus Italien liegt eine Studie aus dem Jahr 2010 vor. 9.423 Zähne wurden radiologisch befundet. Hiervon waren 1.076 Zähne endodontisch behandelt, von denen 448 (41,6%) eine apikale Läsion aufwiesen. Die statistische Analyse zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem periapikalen Status und der Qualität der endodontischen Behandlung ($p < 0,001$), zwischen dem periapikalen Status und der Füllungsqualität ($p < 0,001$) sowie zwischen dem periapikalen Status und der Qualität der koronalen Restauration ($p < 0,001$) (Covello et al. 2010).

1.2.1.6.4 Griechenland

Für Griechenland liegt gegenwärtig eine Studie vor. Die Prävalenz von 60% apikaler Parodontitiden bei wurzelkanalgefüllten Zähnen ist im internationalen Vergleich als bemerkenswert hoch einzuordnen. Insgesamt wurden 320 Patient*innen im Alter zwischen 16 und 77 Jahren untersucht. Die Studie umfasste 7.664 Zähne, wovon 13% eine apikale Parodontitis aufwiesen und 9,2% endodontisch behandelt waren. Molaren wurden häufiger gefüllt (13,1% im Vergleich zu 11,9% Prämolaren und 5,8% Frontzähne), wiesen jedoch auch signifikant öfter eine

apikale Parodontitis auf (23,9% im Vergleich zu 14,0% Prämolaren und 9,4% Frontzähne, $p < 0,001$) (Georgopoulou et al. 2005).

1.2.1.6.5 Zypern

Von Kalender et al. (2013) wurden 1.006 Patient*innen untersucht. Von den 2.200 wurzelkanalbehandelten Zähnen hatten 62% eine apikale Parodontitis im Vergleich zu 5,5% der Gesamtprobe. Wurzelkanalgefüllte Zähne, die als ausreichend behandelt eingestuft wurden, zeigten in 223 (26,6%) Fällen eine apikale Parodontitis, bei unzureichend gefüllten Zähnen waren es 1.192 (87,7%). Die Autoren stellten keine Abhängigkeit von Qualität oder dem Vorhandensein koronaler Restaurationen ($p = 0,01$) fest.

1.2.1.6.6 Türkei

Aus der Türkei wurden drei Studien zur Prävalenz apikaler Parodontitiden publiziert. Endodontische Behandlungen wurden an 1,55%, 3,3% und 5,3% aller Zähne durchgeführt, 1,63%, 1,4% und 4,2% der Gesamtzahnanzahl zeigten periapikale Läsionen. Demnach wiesen 38%, 18,2% und 53,5% der wurzelkanalbehandelten Zähne eine apikale Parodontitis auf (Özbaş et al. 2011; Gulsahi et al. 2008; Sunay et al. 2007).

Eine vierte Studie zur Häufigkeit apikaler Parodontitiden assoziierte ergänzend die postendodontische Versorgung. Hier wiesen 40,5% aller gefüllten Wurzeln eine apikale Parodontitis auf. Auffallend war eine höhere Prävalenz apikaler Läsionen bei Wurzeln, die mit einem Stift versorgt wurden (53,16% gegenüber 42,37%) (Kayahan et al. 2008). Eine weitere Studie bewertete die technische Qualität der Wurzelkanalbehandlungen türkischer Studenten. Nur 33% der Zähne waren in Länge, Homogenität und Konizität adäquat präpariert und gefüllt worden (Er et al. 2006).

1.2.1.7 Naher Osten

1.2.1.7.1 Palästina

Die vorliegende Studie in einer palästinensischen Teilpopulation fand eine hohe Prävalenz und Inzidenz von AP in Verbindung mit wurzelkanalgefüllten Zähnen. Von 6.482 untersuchten Zähnen wiesen 978 (15,1%) radiologische Anzeichen

einer apikalen Parodontitis auf. Die technische Qualität vieler Wurzelkanalbehandlungen (74,5%) wurde als nicht akzeptabel beurteilt (Mukhaimer et al. 2012).

1.2.1.7.2 Jordanien

Von 7.390 untersuchten Zähnen (294 Patient*innen) hatten 11,6% eine apikale Parodontitis (83,7% der Patient*innen) und 5,7% wurden endodontisch behandelt (63,3% der Patient*innen). Die endodontische Behandlung war bei 72,4% der wurzelkanalbehandelten Zähne unzureichend, von denen 87,0% eine apikale Parodontitis aufwiesen (Al-Omari et al. 2011).

1.2.1.7.3 Saudi-Arabien

Eine Zufallsstichprobe von 193 Patient*innen untersuchten Alfouzan et al. (2016) mit Hilfe von Orthopantomogrammaufnahmen. Es zeigten sich bei 324 wurzelkanalbehandelten Zähnen 190 mit apikaler Parodontitis. Das entspricht 58,6% der endodontisch behandelten Zähne und gehört somit im internationalen Vergleich zu den höheren Prävalenzen.

1.2.1.8 Afrika

1.2.1.8.1 Senegal

Von 6.234 untersuchten Zähnen waren 2,6% wurzelkanalgefüllt, eine periapikale Läsion wurde bei 56,1% der gefüllten Zähne diagnostiziert. Nur 17,7% der Wurzelkanalfüllungen waren technisch akzeptabel (Touré et al. 2008).

1.2.1.8.2 Nigeria

Eine aus Nigeria stammende Publikation zeigt ähnliche Ergebnisse. Hierfür wurden 756 Patient*innen untersucht. Von den 21.468 untersuchten Zähnen waren 12,2% wurzelkanalgefüllt und 41% hiervon wiesen eine apikale Parodontitis auf (Oginni et al. 2015).

1.2.1.9 Australien

Hier wurden eintausend Orthopantomogramme von Neupatient*innen mit insgesamt 22.586 Zähne untersucht. Von diesen hatten 2.907 Zähne (12,9%) eine

periapikale Parodontitis. 2.504 Zähne waren einer Wurzelkanalbehandlung unterzogen worden, von denen 44,9% eine deutliche apikale Läsion und 3,1% einen erweiterten Parodontalspalt aufwiesen. Der Großteil (70,4%) der Wurzelkanalfüllungen war inhomogen (Kielbassa et al. 2017).

Eine Studie aus 2009 untersuchte 5.647 Zähne, wobei 8,8% wurzelkanalgefüllt waren. Apikale Parodontitiden wurden bei 21,4% der wurzelkanalgefüllten Zähne gefunden. Nur bei 29,1% waren Länge und Dichte der Wurzelkanalfüllung ausreichend (Da Silva et al. 2009).

1.2.1.10 Mitteleuropa

1.2.1.10.1 Niederlande

Peters et al. (2011) verglichen Röntgenbilder aus dem Jahr 2006 mit denen einer ähnlichen Patient*innenprobe aus 1988. Insgesamt waren 4,8% der Zähne wurzelkanalgefüllt, 2,5% wiesen radiologische Anzeichen einer apikalen Parodontitis auf. Von diesen Läsionen waren 45,7% an wurzelkanalbehandelten Zähnen zu finden (24,1% der endodontisch behandelten Zähne). Unzureichende Wurzelkanalfüllungen waren häufig zu finden (55,8%). Die Autor*innen sahen keine signifikante Veränderung der periapikalen Gesundheit in den letzten 20 Jahren.

Eine frühere Studie von de De Cleen et al. (1993) zeigte ähnliche Ergebnisse. In den 4.196 untersuchten Zähnen konnte bei 2,3% eine Wurzelkanalfüllung festgestellt werden und eine periapikale Aufhellung zeigte sich bei 6%. Der Anteil der AP lag bei den wurzelkanalgefüllten Zähnen bei 39,2%. Die Qualität der Wurzelkanalfüllung wurde anhand der Länge bewertet und ergab mit 49,4% ein zufriedenstellendes Ergebnis.

1.2.1.10.2 Frankreich

Eine Querschnittsstudie aus 2009 bestimmte die Prävalenz der apikalen Parodontitis bei 1.035 wurzelkanalgefüllten Zähnen anhand von Einzelzahaufnahmen. Gleichzeitig wurde der Einfluss der Qualität von Wurzelkanalfüllungen und koronalen Restaurationen auf den periradikulären Status untersucht. Insgesamt betrug die Prävalenz der apikalen Parodontitis bei gefüllten Zähnen 33%. Als zufriedenstellend gefüllt wurden nur 19% der Zähne bewertet. Die Qualität der endodontischen Behandlung war der wichtigste Erfolgsfaktor, obwohl die

Qualität der koronalen Restauration ebenfalls das Behandlungsergebnis beeinflusste (Tavares et al. 2009).

Eine weitere Studie legte offen, dass nur 31,2% der durchgeführten Wurzelkanalfüllungen ein befriedigendes Ergebnis aufwiesen. Nicht wurzelkanalbehandelte Zähne ($n = 6.126$) zeigten signifikant weniger Anzeichen einer apikalen Läsion als wurzelkanalgefüllte Zähne ($n = 1.429$) (1,7% gegenüber 31,5%, $p < 0,0001$). Auffallend war die geringe Restbezaehrung bei Männern im Vergleich zu den weiblichen Studienteilnehmerinnen. Zugleich wurden mehr wurzelkanalbehandelte Zähne bei Frauen festgestellt (Lupi-Pegurier et al. 2002).

Ebenfalls im Jahr 2002 untersuchten Boucher et al. (2002) die endodontische Versorgung mit Hilfe von Röntgenaufnahmen. Von den 8.743 in die Untersuchung einbezogenen Wurzeln (5373 Zähne) waren 23% wurzelkanalgefüllt. Ein akzeptabler Behandlungsstandard wurde für 21% der Wurzeln angegeben, wobei dennoch 16% Zeichen einer AP aufwiesen. Bei Wurzeln mit inakzeptablen Wurzelkanalfüllungen wiesen 27% eine apikale Aufhellung auf.

1.2.1.10.3 Irland

In der Studie von Loftus et al. (2005) wurden die Orthopantomogramme von 302 irischen Patient*innen untersucht. Von den 7.427 untersuchten Zähnen hatten 2% eine Wurzelkanalfüllung erhalten. Eine apikale Parodontitis war bei 1,6% aller nicht gefüllten Zähne zu erkennen, während 33,1% der Proband*innen mindestens einen Zahn mit apikaler Parodontitis hatten. Ein Viertel der wurzelkanalgefüllten Zähne wies eine apikale Parodontitis auf und 52,6% wurde nach ESE-Richtlinien als technisch unzureichend gefüllt angesehen.

1.2.1.10.4 Belgien

Einen Zusammenhang zwischen dem parodontologischen Behandlungsbedarf und der Prävalenz apikaler Parodontitiden wurde 2006 in Belgien gefunden. Insgesamt wurden 272 wurzelkanalgefüllte Zähne von 94 Patient*innen untersucht. Bei Patient*innen, die eine Behandlung des marginalen Parodontiums erhalten hatten, wurde im Vergleich zu parodontal unbehandelten Patient*innen eine signifikant geringere Prävalenz der apikalen Parodontitis beobachtet (31,3% im Vergleich zu 55,1%, $p < 0,005$). Mit einer Prävalenz von 49,3% apikaler Läsionen an

wurzelkanalgefüllten Zähnen liegt dieser Wert über dem vorangegangener Studien aus Belgien (Stassen et al. 2006). Hommez et al. (2002) machten an 33% aller wurzelkanalgefüllten Zähne eine AP aus, während De Moor et al. (2000) an 40,4% der endodontisch behandelten Zähne eine apikale Aufhellung vorfanden.

1.2.1.10.5 Schottland

Eine schottische Subpopulation von 340 Patient*innen wurde röntgenologisch untersucht. Hierbei waren 5,6% aller Zähne wurzelkanalbehandelt, von denen wiederum 58,1% radiologische Anzeichen einer periapikalen Erkrankung aufwiesen. Insgesamt zeigten 4,9% aller 8.420 Zähne Anzeichen einer apikalen Entzündung (Saunders et al. 1997).

1.2.1.10.6 Deutschland

1.2.1.10.7 Prävalenz von Wurzelkanalfüllungen

Ketterl (1984) fand von 7.050 untersuchten Zähnen 532 mit einer Wurzelkanalfüllung vor, dies entspricht einem Anteil von 7,5%.

Klimek et al. (1995) führten eine Untersuchung von jeweils 500 Orthopantomogrammen von Neufällen der Gießener Zahnklinik aus den Jahren 1983 und 1991 durch. Unter 10.677 Zähnen fanden sich im ersten Untersuchungszeitraum 328 (3,2%) wurzelkanalbehandelte Zähne. Dieser Wert stieg 1991 bei 10.796 vorhandenen Zähnen auf 497 (4,6%) wurzelkanalbehandelte Zähne an. Der prozentuale Anteil von Patient*innen mit wurzelkanalgefüllten Zähnen wuchs dabei von 38,6 auf 47,2% an. Die Gruppe der Oberkieferfrontzähne war die am häufigsten gefüllte Zahngruppe (36,5% bzw. 34,4%) und auffallend selten wurden die Oberkiefermolaren (11,2% bzw. 10,7%) sowie die Unterkieferfrontzähne (2,3% bzw. 6,0%) obturiert.

Schulte et al. (1998) verglichen in Marburg die Ergebnisse zweier Jahrgänge miteinander. Sie untersuchten 1.830 OPGs, fanden dabei jedoch geringere Werte als in die zuvor genannten Studien. Die Prävalenz endodontisch behandelter Zähne stieg von durchschnittlich 0,5 pro Patient*in im Jahr 1983 auf 0,8 pro Patient*in im Jahr 1992, das entspricht einem Anteil der Patient*innen von 26,8% im Jahr 1983 bzw. von 35,8% im Jahr 1992. In beiden Jahrgängen ähnelt die Verteilung der Wurzelkanalfüllungen auf die Zahngruppen den Ergebnissen aus

Gießen. Auch hier wurden die Oberkieferfrontzähne am häufigsten (44,3% bzw. 35,8%) und die Unterkieferfrontzähne am wenigsten häufig (8,0% bzw. 7,5%) endodontisch behandelt.

Eine Untersuchung des Jahres 1993 zeigte in einer Stuttgarter Studienpopulation einen Anteil von 2,7% (n = 215) wurzelkanalgefüllter Zähne in einem Gesamtzahnbestand von 7.987 Zähnen bei 323 Patient*innen (Weiger et al. 1997). Conert et al. (2019) untersuchten 20 Jahre später 353 Patient*innen und verglichen die Ergebnisse mit denen aus 1993. Hier wurden 9.269 Zähne untersucht, von denen 3,6% (337 Zähne) wurzelkanalgefüllt waren. Die Prävalenz der apikalen Parodontitis ungefüllter Zähne lag 2019 bei 2,0%, 1993 bei 3,4%, bei wurzelkanalgefüllten Zähnen betrug sie 34%, 1993 waren es 61%.

Eine Auswertung einer Berliner Population mit insgesamt 742 Orthopantomogrammen der Jahre 1999 bis 2001 zeigte bei 57,8% der Patient*innen mindestens einen endodontisch behandelten Zahn. Das entspricht einer Prävalenz von 5,8% der wurzelkanalgefüllten Zähne bei einem Gesamtzahnbestand von 17.948 Zähnen. Auch hier wurden mehr Wurzelkanalbehandlungen an Oberkieferfrontzähnen (28,1%) gefunden als an den anderen Zahngruppen (Viktorov 2006).

An der Münchener Zahnklinik untersuchte Hammann (2016) alle im Jahr 2010 angefertigten Orthopantomogrammaufnahmen. Hierbei wurden 1.249 Frauen und 1.325 Männer untersucht. Im Durchschnitt waren 7,87% aller Zähne wurzelkanalbehandelt. Der Patient*innenanteil, der mindestens eine Wurzelkanalbehandlung erhalten hatte, lag bei 65,3%. Eine weitere Untersuchung von Münchener Patient*innen umfasste Panoramaschichtaufnahmen der Jahre 2003 und 2011. Im Jahr 2003 waren 6,3%, im Jahr 2011 8,0% der Zähne wurzelkanalgefüllt (Kirchhoff 2017).

Eine weitere Studie, in der 500 DVTs untersucht wurden, zeigt eine Prävalenz von durchschnittlich 1,4 gefüllten Zähnen pro Patient*in, was einem Anteil von 8,2% aller 8.254 untersuchten Zähnen entspricht. Dieser Wert ist erheblich höher im Vergleich zu denen vorangegangener Untersuchungen (Bürklein et al. 2020).

Aus Göttingen liegen mehrere Studien der vergangenen Jahre vor. Hülsmann et al. (1991) untersuchten Orthopantomogrammaufnahmen von 200 Patient*innen mit einem durchschnittlichen Zahnbestand von 24,2 Zähnen, insgesamt 4.845

untersuchten Zähnen. Hiervon waren 156 Zähne wurzelkanalbehandelt (3,2%), wobei 139 (2,9%) gefüllt waren und 17 (0,3%) zusätzlich wurzelspitzenreseziert. Frauen wiesen im Durchschnitt 0,8, Männer 0,7 endodontisch behandelte Zähne pro Person auf. Frontzähne des Oberkiefers waren mit 36% die am häufigsten wurzelkanalbehandelten Zähne, gefolgt von Oberkieferprämolaren (19%), Unterkiefermolaren (16%) und -prämolaren (15%). Oberkiefermolaren (10%) und Unterkieferfrontzähne (4%) wurden hingegen weniger oft wurzelkanalbehandelt. Diese Ergebnisse decken sich mit denen anderer Studienorte. Im Jahr 1993 wurde eine weitere Studie mit vergleichbarem Versuchsaufbau durchgeführt. Hier wurden 200 Parodontalstaten mit Einzelzahnaufnahmen aller Zähne als Untersuchungsgut verwendet. Von den 4.770 vorhandenen Zähnen waren 3,75% wurzelkanalbehandelt worden (Hülsmann et al. 1995).

Erneute Untersuchungen wurden für ausgewählte Jahrgänge von 1976 bis 1993 durchgeführt. Der Anteil der endodontisch behandelten Zähne schwankte je nach Jahrgang zwischen minimal 1,8% (im Jahr 1977) und einem Maximum von 4,1% (im Jahr 1991) (Hülsmann und Snezna 1998).

Eine weitere Göttinger Untersuchung zeigte eine Prävalenz von 4,2% wurzelkanalgefüllter Zähne. Das Untersuchungsgut bestand aus 536 OPGs von Patient*innenneufällen, die in neun Zahnarztpraxen im Zeitraum 1994 bis 1997 zusammengetragen wurden (Hülsmann und Hammerstein-Loxten 2014).

Heppeler und Hülsmann (2010) verglichen die Prävalenz von Wurzelkanalfüllungen und Parodontitis apicalis der Jahre 1994 und 2004 miteinander. Der Anteil wurzelkanalgefüllter Zähne betrug 3,4% und 4,8% an der Gesamtzahl der Zähne.

1.2.1.10.8 Qualität der endodontischen Versorgung bzw. Anzahl periapikaler Parodontitiden

Die Ergebnisse von Klimek et al. (1995) zeigen eine Verbesserung der endodontischen Versorgung von 1991 zu 1983. Hinsichtlich der Länge wurden 1983 lediglich 35,8% der Wurzelkanalfüllungen 0 – 2 mm vor dem Apex obturiert, während 1991 ein Wert von 46,6% ermittelt wurde. Die Homogenität der Füllungen unterschied sich hingegen nicht, sie war in beiden Jahrgängen etwa zu 50% ausreichend bzw. ungenügend. Die Apikalregion war im früheren Betrachtungszeitraum häufiger als pathologisch bewertet worden als im Jahr der Nachbetrachtung (56,9% gegenüber 45,8%).

Schulte et al. (1998) zeigten ebenfalls einen Rückgang in der Prävalenz apikaler Parodontitiden auf. Während 1983 55,2% aller Wurzelkanalfüllungen bis 0 – 2 mm vor den Apex reichten, wurden 1992 56,8% bis dorthin gefüllt. Gleichzeitig nahm die Zahl inhomogener Füllungen ab (25,0% zu 21,9%). Die Prävalenz periapikal erkrankter wurzelkanalgefüllter Zähne verringerte sich geringfügig von 14,4% auf 13,6%.

Von den 215 wurzelkanalbehandelten Zähnen, die Weiger et al. (1997) registrierten, waren lediglich 14,4% adäquat gefüllt. Bei 61% der wurzelkanalgefüllten Zähne zeigte sich eine apikale Parodontitis. Insgesamt wurde bei 3,4% aller Zähne eine apikale Läsion vorgefunden. Zwanzig Jahre später stellten sich die Ergebnisse deutlich verbessert dar. Die Prozentzahl der als ausreichend bewerteten Obturationen stieg auf 34,7%, die Prävalenz apikaler Parodontitiden sank sowohl für die wurzelkanalgefüllten Zähne auf 34,1% als auch für den Gesamtzahnbestand auf 2%.

Einen Anteil von 44,6% der Wurzelkanalfüllungen bezeichnete Viktorov (2006) als adäquat gefüllt. Als apikal erkrankt wurden 6,3% der Zähne erfasst, dies betraf 47,7% der wurzelkanalbehandelten Zähne.

In München beobachteten Hammann (2016) und Kirchhoff (2017) einen Trend der Verbesserung. So wurden 2003 nur 32,6% der Wurzelkanalfüllungen als ausreichend lang beurteilt, 2010 bzw. 2011 waren es 41,1% bzw. 38,2%. Die Dichte der Füllungen verbesserte sich ebenfalls. Die Häufigkeit apikaler Parodontitiden wurzelkanalgefüllter Zähne schwankte von 26,8% (im Jahr 2003) über 39% (im Jahr 2010) zu 25,0% (im Jahr 2011). Die Prävalenzen einer pathologischen Veränderung des Apex lagen insgesamt zwischen 4,0% (im Jahr 2003) und 7,4% (im Jahr 2010) aller Zähne.

Bürklein et al. (2020) ermittelten in DVTs eine Gesamtprävalenz apikaler Läsionen von 3,8%, während sie bei Zähnen mit Wurzelkanalfüllung 42,5% betrug. Wurzelkanalfüllungen endodontisch behandelter Zähne endeten in 31,2% der Fälle mehr als 2 mm vor dem radiologischen Apex, 5,1%. Bei 8,1% waren die gefüllten Zähne mit extrudiertem Füllmaterial versehen und 5,3% von ihnen zeigten unbehandelte Wurzelkanäle.

Von den von Hülsmann et al. (1995) in Göttingen untersuchten Wurzelkanalfüllungen waren nur 32,4% mit einem Abstand von 0 – 2 mm vor dem Apex gefüllt, die Dichte wurde bei 18,2% als gut und bei 14,3% als ausreichend bewertet. Das Urteil „schlecht“ wurde vor allem bei den Molaren oft vergeben. Bei insgesamt 59,1% der endodontisch behandelten Zähne war das periapikale Gewebe wahrscheinlich oder sicher erkrankt. Bei 7,1% konnte keine eindeutige Befundung stattfinden (PRI = 3). Bei den nicht wurzelkanalbehandelten Zähnen war dies bei 1,1% der Zähne der Fall. Ein pathologisch veränderter Apex fand sich wahrscheinlich bei 0,7%, als sicher erkrankt wurde er bei 0,9% der Zähne diagnostiziert.

Zuvor zeigten sich vergleichbare Werte: 36% der Wurzelkanalfüllungen endeten 0 – 2 mm vor dem Apex, nur 19% der Wurzelkanäle waren homogen gefüllt. Eine apikale Parodontitis lag bei 60% der gefüllten Zähne sicher oder wahrscheinlich vor (Hülsmann et al. 1991).

Anzeichen für eine Verbesserung der Qualität endodontischer Behandlung konnten beim Vergleich der verschiedenen Jahrgänge nicht aufgezeigt werden. Durchweg zeigten mehr als 50% der betrachteten Wurzelkanalfüllungen eine zu kurze Länge und ebenfalls mehr als die Hälfte der Fälle waren inhomogen obturirt worden oder Wurzelkanäle waren unbehandelt geblieben. Bei den wurzelkanalgefüllten Zähnen fand man zwischen 13,6% (1987) und bis zu 40,6% (1983) einen PRI von 5, bei weiteren 3,7% (1991) bis 15,9% (1983) wurde ein PRI von 4 registriert (Hülsmann und Snezna 1998).

Ähnliche Zahlen wurden beim Vergleich der Zahnarztpraxen gefunden: 50,1% der behandelten Zähne waren mehr als 2 mm zu kurz gefüllt worden, 51,6% der Wurzelkanalfüllungen wiesen eine unzureichende Qualität auf. Sicher wurde in 25,9% der endodontisch behandelten Zähne eine apikale Parodontitis aufgefunden, in 10% der Fälle war dies wahrscheinlich (Hülsmann und Hammerstein-Loxten 2014).

Die Bewertung durch Heppeler und Hülsmann (2010) bezüglich der Länge der Wurzelkanalfüllungen ergab für beide Jahre vergleichbare Ergebnisse. Lag der Anteil zu kurzer Wurzelkanalfüllungen im Jahre 1994 bei 52,7%, so sank er im Jahr 2004 etwas auf 50,7%. Als insuffizient bewertete Wurzelkanalfüllungen waren mit 48,5% und 40,6% vertreten. Insgesamt wurden an 3,3% bzw. 5,2% des Gesamtzahnbestandes sicher oder wahrscheinlich eine Parodontitis apicalis

diagnostiziert. Auf die wurzelkanalbehandelten Zähne entfallen 34,6% und 38,7% mit Anzeichen einer apikalen Läsion.

1.2.1.10.9 Endodontischer Behandlungsbedarf

Die Studien von Klimek et al. (1995) und Schulte et al. (1998) lassen lediglich auf den Revisionsbedarf schließen. Es ergeben sich Werte zwischen 13,6% und 56,9%.

Die Untersuchungen der Stuttgarter Studienpopulation ergab 1993 einen minimalen Behandlungsbedarf von 2,3% für alle Zähne, die klinische Zeichen einer periapikalen Parodontitis, einer Pulpanekrose oder einer irreversiblen Pulpitis zeigten. Im Jahre 2013 lag er bei 1,6%. Der zu erwartende Behandlungsbedarf wurde um die Zähne ergänzt, die klinisch symptomlos waren, röntgenologisch jedoch Auffälligkeiten zeigten (PRI 3 – 5). Dieser lag 1993 bei 3,7%, 2013 bei 2,9%. Zum maximalen Behandlungsbedarf wurden zusätzlich die revisionsbedürftigen Wurzelkanalfüllungen gerechnet, die röntgenologisch keine Läsion zeigten, aufgrund der insuffizienten Füllung jedoch erneut desinfiziert und obturirt werden sollten. Hier ergab sich ein Bedarf von 4,0% (1993) bzw. 4,2% (2013) aller Zähne.

Hülsmann et al. (1991) stellten lediglich den Revisionsbedarf der endodontisch behandelten Zähne heraus, betonten jedoch, dass bei klinischer Untersuchung der Wert des Behandlungsbedarfes sicherlich ansteigen würde. Zweiundneunzig (66%) der wurzelkanalbehandelten Zähne zeigten hier einen Revisionsbedarf.

Hülsmann et al. (1995) unterschieden in minimale (PRI = 5) und maximale (PRI = 4 oder 5) endodontische Behandlungsnotwendigkeit. Demnach ergab sich ein minimaler Behandlungsbedarf für 2% der 4.502 betrachteten Zähne, der maximale Behandlungsbedarf lag bei 3,6%.

Der minimale Behandlungsbedarf, der ebenfalls nur die Zähne mit einem PRI von 5 umfasste, betrug bei Hülsmann und Snezna (1998) zwischen 1,9% (1976) und 4,4% (1983), lag jedoch im Durchschnitt bei etwa 2,5% der untersuchten Zähne. Der maximale Behandlungsbedarf summierte sich aus den Zähnen mit einer röntgenologisch diagnostizierten Caries profunda, Zähnen mit einem PRI von 4 oder 5 sowie allen Zähnen mit einer revisionsbedürftigen Wurzelkanalfüllung. Der maximale endodontische Behandlungsbedarf bewegte sich zwischen 6% (1976) und maximal 12% (1983), lag jedoch im Durchschnitt bei über 10% der beurteilten Zähne.

Hülsmann und Hammerstein-Loxten (2014) bestimmten einen sicheren Revisionsbedarf bei Zähnen mit einem PRI 4 oder 5 an 1,2% der Zähne und bei weiteren 1,2% einen unklaren Revisionsbedarf. An nicht wurzelkanalbehandelten Zähnen war der Behandlungsbedarf bei 1,7% sicher und bei 1,5% wahrscheinlich. Unklar war der Behandlungsbedarf bei immerhin noch 3,8% der Zähne.

Die Untersuchungen aus 1994 und 2004 ergeben einen minimalen Behandlungsbedarf von 26,1% und 31,8% für die wurzelkanalbehandelten Zähne. Ergänzt um die Zähne mit einem PRI von 4, lag er bei 49,7% bzw. 54,4%. Für die Ergebnisse des maximalen Behandlungsbedarfs addierten Heppeler und Hülsmann (2010) den Anteil der nicht wurzelkanalbehandelten Zähne mit einem PRI von 4 oder 5 hinzu (2,2% und 3,5%) sowie der Zähne mit einer pulpanahen Karies (3,2% und 1,8%).

1.2.1.10.10 Daten der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV)

Zur Ergänzung der bis dato vorliegenden Longitudinalstudien für Deutschland, werden die erhältlichen Daten der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung hinzugezogen. Diese gibt in ihrem jährlichen Überblick Daten zur Häufigkeit relevanter Abrechnungsdaten an.

Nach dem Jahrbuch 2019 der KZBV umfassen im Jahre 2018 etwa 6,6% der Gesamtpunkte aus konservierender und chirurgischer Behandlung endodontische Leistungen. Diese setzen sich zusammen aus der Exstirpation der vitalen Pulpa (1,0%), der Wurzelkanalaufbereitung (3,0%), der medikamentösen Einlage (1,2%) sowie der Wurzelkanalfüllung (1,4%). Damit gehören endodontische Leistungen zu den häufigsten abgerechneten Positionen im Jahr 2018.

Die absoluten Zahlen für die Wurzelkanalfüllungen für die Jahre 2015 bis 2018 sind vergleichbar, jedoch mit stetig sinkender Tendenz. So wurden 2015 rund 7,029 Mio. Wurzelkanalfüllungen durchgeführt, 2016 waren es ca. 6,952 Mio. WFs, im Jahre 2017 nur noch 6,909 Mio. WFs und 2018 liegt der bisher niedrigste Wert mit 6,749 Mio. WFs vor.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewerteten Studien der internationalen Literatur über die endodontische Versorgung sowie die Prävalenz apikaler Parodontitiden in chronologischer Reihenfolge.

Tabelle 1: Internationale Studien zur Prävalenz apikaler Parodontitiden und endodontischer Versorgung

Autor	Jahr	Land	Patient*innen	Alter	WK-Zähne	AP %	WF %	WF+AP %
Ketterl	1984	Deutschland	300	k.A.	532	k.A.	7,5	k.A.
Odesjö et al.	1990	Schweden	967	>20	1.492	2,9	8,6	24,5
Hülsmann et al.	1991	Deutschland	200	k.A.	k.A.	k.A.	3,2	60,1
De Cleen et al.	1993	Niederlande	184	>18	97	6,0	2,3	39,2
Buckley & Spangberg	1995	USA	208	k.A.	291	4,1	5,5	31,3
Eriksen et al.	1995	Norwegen	121	35	k.A.	0,6	1,3	38,0
Hülsmann et al.	1995	Deutschland	200	k.A.	k.A.	3,4	3,8	59,1
Klimek et al.	1995	Deutschland	500 (1983)	k.A.	k.A.	k.A.	3,2	56,9
			500 (1991)	k.A.	k.A.	k.A.	4,6	45,9
Saunders et al.	1997	Schottland	340	>18	472	4,9	5,6	58,1
Weiger et al.	1997	Deutschland	323	>12	215	3,4	2,7	61,0
Hülsmann & Snezna	1998	Deutschland	800	k.A.	k.A.	k.A.	1,8 – 4,1	19,7 – 56,5
Marques et al.	1998	Portugal	179	30 – 39	67	2,0	1,5	21,7
Schulte et al.	1998	Deutschland	930(1983)	>6	436	k.A.	k.A.	14,4
			900(1992)		681	k.A.	k.A.	13,7
Sidaravicius et al.	1999	Litauen	147	35 – 45	319	7,2	8,2	35,0
Aleksejuniene et al.	2000	Litauen	147	35 – 44	k.A.	7,2	k.A.	5,6
De Moor et al.	2000	Belgien	206	>18	312	6,6	6,8	40,4
Kirkevang et al.	2001	Dänemark	614	>20	773	3,4	4,8	52,2

Autor	Jahr	Land	Patient*innen	Alter	WK-Zähne	AP %	WF %	WF+AP %
Boucher et al.	2002	Frankreich	208	>17	1.021	7,4	19,1	29,7
Hommeze et al.	2002	Belgien	k.A.	k.A.	745	k.A.	k.A.	33,0
Lupi-Pegurier et al.	2002	Frankreich	344	>20	1.429	7,3	18,9	31,5
Bołtacz-Rzepkowska & Pawlicka	2003	Polen	236	15 – 76	282	k.A.	k.A.	24,5
Boykin et al.	2003	USA	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Cavalcante et al.	2003	Brasilien	300	k.A.	453	6,0	6,1	33,1
Dugas et al.	2003	Kanada	610	25 – 40	404	4,6	2,5	45,4
Bjørndal & Reit	2004	Dänemark	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Jiménez-Pinzón et al.	2004	Spanien	180	>18	93	4,0	2,0	64,5
Frisk & Hakeberg	2005	Schweden	1.417+	>38	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Georgopoulou et al.	2005	Griechenland	320	16 – 77	680	13,6	9,2	60,0
Kabak & Abbott	2005	Weißrussland	1.423	>15	6.339	12,0	20,0	45,0
Loftus et al.	2005	Irland	302	>16	152	1,6	2,0	25,0
Siqueira et al.	2005	Brasilien	1.139	k.A.	2.051	k.A.	k.A.	50,3
Tsuneishi et al.	2005	Japan	672	>20	3.320	k.A.	20,5	40,0
Er et al.	2006	Türkei	1.654	k.A.	1.893	k.A.	k.A.	k.A.
Kirkevang et al.	2006	Dänemark	473	k.A.	697	3,7	5,6	44,3
Skudutyte-Rysstad & Eriksen	2006	Norwegen	146	35	61	1,1	1,5	43,0
Stassen et al.	2006	Belgien	94	k.A.	272	k.A.	k.A.	49,3
Viktorov et al.	2006	Deutschland	742	13 – 89	1.046	6,3	5,8	47,7
Eckerbom et al.	2007	Schweden	115	>20	435	6,8	17,7	21,4
Sunay et al.	2007	Türkei	375	16 – 82	470	4,2	5,3	53,5
Estrela et al.	2008	Brasilien	k.A.	18 – 60	1372	k.A.	k.A.	16 – 72

Autor	Jahr	Land	Patient*innen	Alter	WK-Zähne	AP %	WF %	WF+AP %
Frisk et al.	2008	Schweden	491	20 – 70	k.A.	k.A.	k.A.	24,6
Gulsahi et al.	2008	Türkei	1.000	>16	812	1,4	3,3	18,2
Kayahan et al.	2008	Türkei	280	>18	1.268	k.A.	k.A.	40,5
Segura-Egea et al.	2008	Spanien	180	>18	k.A.	3,0 – 5,0	1,5 – 2,5	k.A.
Touré et al.	2008	Senegal	208	>18	162	4,6	2,6	59,6
Da Silva et al.	2009	Australien	243	k.A.	499	k.A.	8,8	21,4
Tavares et al.	2009	Frankreich	213	>18	1.035	k.A.	k.A.	33,0
Covello et al.	2010	Italien	384	18 – 60	1.076	k.A.	11,4	41,6
Heppeler & Hülsmann	2010	Deutschland	200 (1994)	>16	165	3,3	3,4	34,6
			200 (2004)	>16	217	5,2	4,8	38,7
Kim	2010	Südkorea	428	>17	896	k.A.	k.A.	22,8 – 29,3
Al-Omari et al.	2011	Jordanien	294	>16	424	11,6	5,7	71,9
Kamberi et al.	2011	Kosovo	193	>18	95	12,3	2,3	46,3
Özbaş et al.	2011	Türkei	438	10 – 79	179	1,6	1,6	37,9
Peters et al.	2011	Niederlande	178	>18	224	2,5	4,8	45,7
Huunonen et al.	2012	Finnland	5.335	30 – 95	7.986	k.A.	6,6	k.A.
Mukhaimer et al.	2012	Palästina	258	17 – 62	855	15,1	13,2	59,5
Jersa & Kundzina	2013	Lettland	312	35 – 44	1.255	7,0	18,0	31,0
Kalender et al.	2013	Zypern	1.006	18 – 50	2.200	5,5	8,9	62,0
Moreno et al.	2013	Kolumbien	688	>18	1.086	k.A.	k.A.	49,0
Hülsmann & Hammerstein-Loxten	2014	Deutschland	536	>16	535	8,4	4,2	52,8
Song et al.	2014	Korea	590	k.A.	1.030	k.A.	k.A.	40,9
Berlinck et al.	2015	Brasilien	1.126	k.A.	1.754	7,9	6,9	16,7
Correia-Sousa et al.	2015	Portugal	421	18 – 82	k.A.	2,2	4,2	18,2

Autor	Jahr	Land	Patient*innen	Alter	WK-Zähne	AP %	WF %	WF+AP %
Oginni et al.	2015	Nigeria	756	k.A.	2.576	k.A.	12,2	41,0
Alfouzan et al.	2016	Saudi Arabien	193	k.A.	324	k.A.	k.A.	58,6
Hammann	2016	Deutschland	2.574	>18	4.627	7,4	7,9	39,0
Petersson et al.	2016	Schweden	104	21 – 70	449	1,7	4,5	k.A.
Huumonen et al.	2017	Finnland	5.335	30 – 95	7.986	k.A.	6,6	39,0
Kirchhoff	2017	Deutschland	1.357 (2003)	>14	2.057	4,0	6,3	26,8
			1.454 (2010)		2.656	5,1	8,0	25,0
Kielbassa et al.	2017	Österreich	1.000	19 – 91	2.504	12,9	11,1	44,9
Nascimento et al.	2018	Brasilien	200	k.A.	618	k.A.	k.A.	59,3
Connert et al.	2019	Deutschland	353	>12	337	2,0	3,6	34,1
Bürklein et al.	2020	Deutschland	500	>18	677	3,8	8,2	42,5
Meirinhos et al.	2020	weltweit	1.160	k.A.	2.305	10,4	11,1	55,5
Razdan et al.	2022	Dänemark	614 (1997 – 98)	20 – 64	772	3,3	4,8	52,1
			398 (2007 – 09)		386	3,6	3,6	53,1

Patient*innen: Anzahl (n), WK-Zähne: Anzahl wurzelkanalbehandelter Zähne (n), AP%: Anteil apikaler Parodontitiden in Prozent, WF%: Anteil wurzelkanalgefüllter Zähne in Prozent, WF+AP%: Anteil wurzelkanalbehandelter Zähne mit apikaler Parodontitis in Prozent

1.2.2 Problematik der Auswertung von Röntgenaufnahmen

Die Röntgendiagnostik stellt einen unverzichtbaren Teil der diagnostischen Kette in der zahnmedizinischen Behandlung dar. Zahnärzt*innen sind hierbei nicht nur für die Stellung der Indikation, sondern auch für die Durchführung und die Befundung verantwortlich. Lediglich in seltenen Fällen wird Hilfe seitens der Radiologie benötigt und zu Rate gezogen. Dazu müssen die unterschiedlichen Aufnahmearten, ihre Indikationen, Vorteile sowie die Strahlenexposition bekannt sein. Es muss abgewogen werden, welche Aufnahmeart geeignet zu sein scheint, um ein

Maximum und Optimum an Informationen zur Diagnostik zur Verfügung stellen zu können.

Die Panoramaschichtaufnahme bildet als orientierende Erstaufnahme mit zweidimensionaler Darstellung der Zahnbögen inklusive Kieferknochen, der Kiefergelenke, sowie der Kieferhöhlen die Basis einer strahlenarmen Bildgebung. Vor allem in Fachdisziplinen wie der Oralchirurgie oder der Kieferorthopädie ist diese Aufnahmetechnik beliebt. In anderen Fachdisziplinen finden ebenfalls intraorale Einzelzahnaufnahmen Anwendung, um weitergehende Fragestellungen zu beantworten. Intraorale Einzelzahnaufnahmen dienen einer detaillierten Beurteilung der Zahnhartsubstanzen, der apikalen Knochenstruktur, sowie des Parodontalspaltes. In Einzelfällen kann es auch notwendig sein, eine dreidimensionale Aufnahme anzufertigen. Dies geschieht beispielsweise in Form einer digitalen Volumentomographie.

Die radiologische Diagnose einer apikalen Parodontitis ist eine komplexe Aufgabe, die durch verschiedene anatomische und biologische Variablen erschwert wird. Das Ausmaß einer apikalen Parodontitis reicht von scheinbar vollständiger apikaler Gesundheit bis zu deutlich sichtbarer röntgenologischer Veränderung. Wo Anzeichen eines Entzündungsgeschehens groß und auffällig sind, gibt es kaum Interpretationsspielraum. Eine tropfenförmige Radioluzenz an der Wurzelspitze bei gleichzeitig fehlender Lamina dura deutet stark auf eine apikale Parodontitis hin. In Verbindung mit klinischen Befunden einer nekrotischen Pulpa ist sie pathognomonisch. Bei der Diagnostik normaler bzw. wenig veränderter periapikaler Strukturen und dem Vorhandensein geringfügiger Krankheitszeichen treten hingegen Probleme auf (Huomonen und Orstavik 2002). Hier wurde wiederholt dokumentiert, dass die radiologische Diagnose von Knochenläsionen innerhalb und zwischen Beobachtern sehr unterschiedlich ausfällt (Reit und Hollender 1983).

1.2.2.1 Vergleich von Einzelzahnaufnahmen, Orthopantomogrammaufnahmen und digitaler Volumentomographie

Die Orthopantomogrammaufnahme, auch Panoramaschichtaufnahme genannt, ist eine Zonographie, welche während der Strahlenexposition wechselnde Schichtdicken mit einer Slottechnik kombiniert. Es wird ein System aus Röntgenröhre und Film in einer horizontalen Ebene um den Patient*innenkopf herum bewegt. Die Frontzahnregion unterliegt jedoch einer stärkeren Krümmung als der übrige Kiefer. Demnach wird die Aufnahme in Kreise mit unterschiedlichen Radien zerlegt. Je größer der Radius, desto dicker ist die Schicht, in der ein scharfes

Bild entsteht. Die Schichtdicken variieren zwischen ca. 20 mm im Bereich der Kiefergelenke und lediglich 9 mm im Frontzahnbereich. Hieraus ergibt sich vor allem im Frontzahnbereich oft ein Darstellungsproblem, das dem Prinzip der Panoramaschichtaufnahme geschuldet ist. Zusätzlich entsteht eine Überprojektion der strahlendichten Halswirbelsäule und des harten Gaumens. Zur Verbesserung der Darstellung wird die Umlaufgeschwindigkeit des Strahlers vermindert oder eine Erhöhung der Expositionsparameter im Moment der Passage vorgenommen (Pasler 2003).

Bei der intraoralen Zahnfilmaufnahme handelt es sich um eine Kleinbild-Summa-tionsaufnahme der Spongiosa, der Kortikalisschichten und des Zahnes. Um eine möglichst hohe Bildschärfe bei geringer Verzeichnung zu erhalten, sollte der Zentralstrahl durch die Region projizieren, die es zu beurteilen gilt. So ist eine apikale, parodontale, koronale oder okklusale Zentralstrahlführung möglich. Der Film bzw. Bildempfänger sollte dabei möglichst rechtwinklig zum Zentralstrahl und parallel zur Zahnachse fixiert werden (Pasler 2003). Eine Aneinanderreihung der einzelnen Aufnahmen zu einem gesamten Röntgenstatus wird aufgrund der Zeitintensität der Herstellung sowie der vergleichsweise höheren Strahlenbelastung heutzutage als obsolet angesehen. Zahnfilmaufnahmen werden daher lediglich als Zielaufnahmen bei speziellen Fragestellungen angefertigt.

Die digitale Volumentomographie wurde 1982 in der Mayo Clinic entwickelt. Ursprünglich für die Angiographie entwickelt, findet die DVT seit etwa 20 Jahren Anwendung in der Diagnostik des Kopf- und Halsbereiches. Ein kegelförmiges Strahlenbündel (englisch: *cone beam*) umkreist den Kopf des/r Patienten/in und erfasst dabei innerhalb eines Umlaufs die gesamte Untersuchungsregion. Dabei wird eine Serie von Bildern erzeugt, die von einem digitalen Sensor erfasst und im Anschluss in einen dreidimensionalen Datensatz umgerechnet wird. Der Indikationsbereich wird im zahnärztlichen Bereich ähnlich dem der Computertomographie gesetzt. Hier sind zum Beispiel Untersuchungen des knöchernen Gesichtsschädels zu nennen, die aufgrund von Traumata, Infektionen, Zysten, Tumoren oder angeborenen Deformitäten notwendig werden können. Häufig wird ein DVT zur Beurteilung des Implantatlagers durchgeführt oder zur Beurteilung des Nervenverlaufs bei Weisheitszahnoperationen. Ebenfalls dient es der Beurteilung der angrenzenden Kieferhöhlen und der Kiefergelenke.

Welche Aufnahmeart zur Diagnostik apikaler Parodontitiden überlegen ist, wurde bereits in mehreren Untersuchungen bewertet.

Eine deutliche Unterlegenheit bei der Diagnostik apikaler Parodontitiden in OPGs beschrieben Grasser und Barth (1987). Sie untersuchten die Aufnahmen von 845 Zähnen. Die Korrelation der Befunde von Einzelzahnaufnahmen und OPG betrug im Frontzahnbereich lediglich 52% bis 56% und in posterioren Zahngruppen 55% bis 63%. Eine andere Studie zeigte eine geringere Prävalenz periapikaler Läsionen in OPGs im Vergleich zu Einzelzahnaufnahmen (Gröndahl et al. 1970).

Freitag und Weber (1984) berichteten über eine Schwäche der Orthopantomogrammaufnahmen im Frontzahnbereich, jedoch gleichzeitig über eine erhöhte Sensitivität und Spezifität in der Diagnostik apikaler Aufhellungen im Bereich der Unterkiefermolaren sowie der Eckzähne des Oberkiefers. Vergleichbar waren die Ergebnisse für die Prävalenz osteolytischer Befunde in den übrigen Kieferregionen. Insgesamt verglichen die Autoren die Röntgenaufnahmen von 1.022 Zähnen auf Einzelzahnaufnahmen und OPGs.

Molander et al. (1995) fanden eine hohe Sensitivität für die kombinierte Verwendung von Panorama- und zusätzlichen intraoralen Röntgenaufnahmen (80 – 96%, abhängig von der Zahnart) in Bezug auf periapikale Läsionen und marginalen Knochenverlust. Für Karies war sie jedoch ebenfalls niedrig (42 – 96%). Die Spezifität war für die Diagnostik periapikaler Läsionen und Karies (95 – 97%) vergleichbar hoch, aber niedrig für marginalen Knochenverlust (50 – 92%).

Ahlqwist et al. (1986) sehen in der Panoramaschichtaufnahme ein nützliches Instrument für epidemiologische Studien zur Mundgesundheit mit Ausnahme der Diagnostik von Karies. Osteolytische Läsionen an einwurzeligen Zähnen wurden in 76%, an mehrwurzeligen Zähne in 90% übereinstimmend in OPGs und intraoralen Röntgenaufnahmen gefunden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Orthopantomogrammaufnahme in der Diagnostik periapikaler Aufhellungen der Zahnfilmaufnahme nicht zwangsläufig unterlegen ist. In Abhängigkeit von der Zahnregion kann das OPG der intraoralen Einzelzahnaufnahme sogar überlegen sein. Beachtet man die zu berücksichtigende Reduktion der Strahlenbelastung sowie die Zeitersparnis,

erscheinen Orthopantomogrammaufnahmen für endodontisch-epidemiologische Studien geeignet zu sein.

1.2.2.2 Interindividuelle Unterschiede in der Röntgendiagnostik

Neben den Einflussfaktoren der Art und Qualität von Röntgenbildern sowie den Rahmenbedingungen bei der Befundung (Vergrößerungshilfen, Abdunkelung, etc.), stellt auch der/die Untersuchende selbst einen solchen dar. Röntgenbilder werden interpretiert, sodass der physische und psychische Zustand des*r Beobachters*in weitere Faktoren darstellen können. Ebenso kann das Wissen über die Behandlung bzw. die Patient*innensituation sowie die Erfahrung des*r Untersuchenden Einfluss auf die Entscheidung nehmen (Goldman et al. 1972; Reit und Hollender 1983).

Die Interpretationen verschiedener Untersuchender können daher unterschiedlich ausfallen und divergierende Ergebnisse hervorbringen. Diese lassen sich als interindividuelle Varianz feststellen. Goldman et al. (1972) ließen sechs Untersucher*innen 253 Röntgenbilder begutachten und erhielten hierbei in nicht einmal der Hälfte aller Fälle eine Übereinstimmung (47%) bezüglich periapikaler Läsionen. Festzustellen war jedoch, dass die Zahnärzt*innen, die einen Großteil der Behandlungen selbst durchgeführt hatten, deutlich weniger dieser Behandlungen als Misserfolge bewerteten.

Eine weitere Untersuchung zur interindividuellen Diskrepanz zeigte bei der Bewertung von 119 gefüllten Wurzeln durch drei Zahnärzt*innen und drei Radiolog*innen ein ähnliches Ergebnis. Ein Konsens wurde lediglich bei 27% der pathologischen Befunde und bei 37% der gesunden apikalen Verhältnisse erreicht (Reit und Hollender 1983).

In der Studie von Zakariasen et al. (1984) beurteilten vier Endodontolog*innen 330 Röntgenbilder endodontisch behandelter Zähne. Auch sie verzeichneten eine Übereinstimmung in weniger als der Hälfte aller Fälle (38%). Die Röntgenbilder wurden anschließend unter anderem nach der radiologischen Qualität oder der anatomischen Lage des behandelten Zahns kategorisiert. Diese Kategorisierung war jedoch nicht wesentlich für die Entscheidung über Erfolg oder Misserfolg.

Dass der Tätigkeitsschwerpunkt bzw. die Erfahrung einen Einfluss auf die Interpretation der Ergebnisse haben, zeigt eine andere Studie aus dem Jahr 2001. Hier prüften Endodontolog*innen, Oralchirurg*innen, Prothetiker*innen sowie allgemeintätige Zahnärzt*innen mit unterschiedlicher Berufserfahrung zwanzig Röntgenbilder auf periapikale Läsionen. Die Endodontolog*innen stimmten deutlich häufiger untereinander überein als die übrigen Gruppen. Am zweithäufigsten waren die übrigen Spezialist*innen einig in ihrer Diagnose, am wenigsten oft die Allgemeinzahnärzt*innen. Weiterhin zeigte die Untersuchung eine Korrelation mit der Größe der Radioluzenzen, je größer die Läsion, umso bessere Kappa-Werte ergaben sich (McCaul et al. 2001).

Eine Verbesserung der Übereinstimmung wurde in der Untersuchung von Reit und Hollender (1983) erreicht, wenn die Untersuchenden vor der Beurteilung der Röntgenbilder untereinander kalibriert wurden. Weiterhin reduzieren vorher festgelegte Bewertungskriterien und deren strikte Einhaltung die Anzahl der Fehldiagnosen (Reit und Gröndahl 1983; Eckerbom et al. 1986). Die Wiederholung von Übungsdurchgängen sowie Besprechungen fraglicher Fälle und Differenzen steigern die Konsensfähigkeit unter den Beobachtenden (Saunders et al. 2000; Halse et al. 2002; Molven et al. 2002).

Spezifität und Sensitivität bei der Auswertung apikaler Radioluzenzen wurden durch die Optimierung der Arbeitsumgebung gesteigert. Die besten Ergebnisse erzielten die Untersuchenden bei verdunkeltem Raum und dem Einsatz von Röntgenbildbetrachter sowie Vergrößerungshilfen (Patel et al. 2000). Die Verwendung digitaler Radiographie zeigte jedoch keine Verbesserung in der Diagnostik (Kullendorff und Nilsson 1996; Kullendorff et al. 1997; Tewary et al. 2011).

1.2.2.3 Intraindividuelle Unterschiede in der Röntgendiagnostik

Ebenfalls divergieren die Auswertungsergebnisse bei wiederholter Untersuchung durch die gleiche Person, intraindividuelle Variabilität genannt. Die zu ermittelnden Cohens Kappa-Werte (κ) der Untersuchungsergebnisse sind nach Landis und Koch (1977) folgendermaßen zu interpretieren (Tabelle 2, Seite 33).

Tabelle 2: Interpretation von Cohens Kappa nach Landis und Koch (1977)

Kappa-Wert	Interpretation
$\kappa < 0$	schlechte Übereinstimmung (<i>poor agreement</i>)
0 – 0,20	etwas Übereinstimmung (<i>slight agreement</i>)
0,21 – 0,40	ausreichende Übereinstimmung (<i>fair agreement</i>)
0,41 – 0,60	mittelmäßige Übereinstimmung (<i>moderate agreement</i>)
0,61 – 0,80	beachtliche Übereinstimmung (<i>substantial agreement</i>)
0,81 – 1,00	(fast) vollkommene Übereinstimmung (<i>((almost) perfect agreement</i>)

In der Fortsetzung der Studie von Goldman et al. (1974, 1972) bewerteten drei der ursprünglich sechs Untersucher*innen nach zwei Jahren erneut dieselben Röntgenbilder. Je nach Untersucher*in wurde ein Übereinstimmungskoeffizient von 72 bis 88% gemessen. Zakariasen et al. (1984) erhielten ähnliche Werte für die intraindividuelle Übereinstimmung der vier Endodontolog*innen (70 – 87%). Molven et al. (2002) erzielten sogar eine (fast) vollkommene Übereinstimmung mit Werten von 83% bei wiederholter Auswertung nach zehn bis siebzehn Jahren. Hier beurteilten je ein*e Spezialist*in aus dem Fachbereich der Radiologie sowie der Endodontie 257 Röntgenbilder. Die Autoren führen diese guten Ergebnisse auf die große Berufserfahrung und Übung der Beobachter*innen sowie die gute Röntgenqualität zurück.

Eine andere Untersuchung ergibt weniger gute Werte. Insgesamt sechs Beobachter*innen, darunter fünf endodontologisch tätige Zahnärzt*innen und ein*e orale*r Radiologe*in, bewerteten 150 digitale Röntgenaufnahmen von Molaren. Dieselben sechs Beobachter*innen bewerteten ein Vierteljahr später dieselben 150 digitalen Bilder. Im Durchschnitt ergab sich lediglich eine mäßige intraindividuellen Übereinstimmung (50%) (Tewary et al. 2011).

1.2.3 Kriterien zur Beurteilung von Erfolg und Misserfolg in der Endodontie

Prinzipiell können zur Beurteilung von Erfolg oder Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung klinische, röntgenologische und histologische Untersuchungen des periapikalen Gewebes durchgeführt werden.

Während klinische Beschwerden wie Schwellungen, Schmerzen, Rötung oder Fisteln hinreichend sichere Anzeichen eines Misserfolgs darstellen, ist das Fehlen dieser Symptome nicht zwangsläufig ein sicheres Zeichen für ein entzündungsfreies Parodont bzw. einen Erfolg der Behandlung (Bender et al. 1966a, 1966b). Dennoch definieren Seltzer et al. (1967a, 1967b) einen beschwerdefreien, in Funktion stehenden wurzelkanalbehandelten Zahn als Erfolg, ohne den röntgenologischen oder histologischen Zustand des Gewebes zu berücksichtigen.

Bei der röntgenologischen Kontrolle soll der entzündungsbedingte Mineralverlust des umliegenden Knochens Aufschluss über eine persistierende Entzündung geben. Intakte periradikuläre Knochenstrukturen dienen daher vielmals als Nachweis einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung. Radiologische Befunde können jedoch unterschiedlich interpretiert werden, weiterhin sind anatomische Varianzen zum Beispiel in der Breite des Parodontalspaltess oder der Lage der Läsion im Knochen zu berücksichtigen, ebenso der Einfluss der Projektion der Röntgenstrahlen. Hinzu kommt der Zeitpunkt, der für die Bewertung gewählt wird (Bender und Seltzer 1961a, 1961b; Schwartz und Foster 1971; Huuonen und Orstavik 2002).

Untersuchungen zeigen jedoch, dass ein pathologischer Befund des Periapex röntgenologisch tendenziell unterbewertet wird (Seltzer 1999). In 81% aller Fälle fielen röntgenologisch sichtbare Läsion und histologisch nachgewiesene Entzündung zusammen, jedoch waren nur 67% aller röntgenologisch unauffälligen Apices auch entzündungsfrei (Barthel et al. 2004).

Eine histologische Untersuchung scheint eine eindeutige und sichere Beurteilung von Erfolg und Misserfolg zu erlauben. Hingegen ist eine solche Untersuchung weder praxistauglich noch ethisch vertretbar und bleibt daher auf Einzelfälle beschränkt (Seltzer et al. 1967a, 1967b; Lin et al. 1991; Seltzer 1999). Für die Durchführung der meisten Studien werden deshalb klinische und/oder radiologische Befunde verwendet.

Die DGZMK und DGZ (2000) formulierten drei Kategorien als Basis für die Definition von Erfolg oder Misserfolg:

Eine „vollständige Heilung“ wird angenommen bei klinischer Symptombefreiheit und radiologisch durchgehendem verfolgbarbarem Parodontalspalt normaler Breite. Hierzu wird weiterhin ergänzt, dass eine endodontisch bedingte Läsion radiologisch als knöchern regeneriert zu beurteilen sein muss und, falls gegeben, progressive Resorptionen stillstehen.

Eine „unvollständige Heilung“ liegt vor bei klinischer Symptombefreiheit und radiologisch verifizierbarer Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion.

„Keine Heilung“ ist dagegen definiert bei klinischen Symptomen einer endodontisch bedingten Parodontitis und/oder radiologisch nicht nachweisbarer Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion, gegebenenfalls auch Neubildung einer periradikulären Läsion.

Dies bedeutet, dass eine Bewertung einer periapikalen Läsion allein anhand eines röntgenologischen Befundes von intakter oder aufgehellter Periapikalregion nicht genügen kann. Aus diesem Grund können in der vorliegenden Studie Fehlinterpretationen bei der Beurteilung von „Erfolg“ oder „Misserfolg“ nicht vollständig ausgeschlossen werden, da lediglich der aktuelle Befund bewertet werden kann.

1.2.4 Indizes in der Endodontie

Strindberg (1956) legte als einer der ersten die Kriterien für Erfolg, Misserfolg oder ein unsicheres Therapieergebnis fest. Klinisch galt jeder therapierte Wurzelkanal, der asymptomatisch war, als Erfolg. Radiologisch wurden qualitative Kriterien für die Befundung festgelegt.

Um die Apikalregion radiologisch zu bewerten, formulierte Molven (1976) folgende Kriterien, wobei die Befunde eins und zwei als physiologisch gelten, drei und vier fraglich sind und fünf bis sieben sicher pathologisch (Tabelle 3, Seite 36).

Tabelle 3: Bewertungen der Apikalregion nach Molven (1976)

Kategorie	Bewertungskriterien
1	Parodontalspalt und Lamina dura regelrecht
2	Parodontalspalt regelrecht und Lamina dura diffus
3	Parodontalspalt verbreitert und Lamina dura regelrecht
4	Parodontalspalt verbreitert und Lamina dura diffus
5	Apikale Parodontitis
6	Laterale Parodontitis
7	Apikale und laterale Parodontitis

Reit und Hollender (1983) erstellten einen Index, dessen Kriterien eine periapikale Aufhellung nur mäßig differenzieren. Es erfolgte lediglich die Bewertung von An- oder Abwesenheit einer Läsion, jedoch ohne eine Beurteilung der Pathogenität. Weiterhin bewerteten die Autoren die Qualität der Wurzelkanalfüllung. Hier wurde unterschieden zwischen ausreichendem oder insuffizientem Verschluss der apikalen 4 mm.

Reit und Gröndahl (1983) entwickelten einen Index zur qualitativen Beurteilung des Periapex. Der Periapical Probability Index (PRI) weist fünf Stufen auf (Tabelle 4).

Tabelle 4: Periapical Probability Index (PRI) nach Reit und Gröndahl (1983)

PRI	Interpretation
1	Sicher keine periapikale Veränderung
2	Wahrscheinlich keine periapikale Veränderung
3	Pathologischer Befund unsicher
4	Wahrscheinlich eine periapikale Veränderung
5	Sicher eine periapikale Veränderung

Ein weiteres qualitatives Bewertungssystem, bei dem die systemimmanenten Unsicherheiten der Auswertung noch geringfügig weiter unterschieden werden, stellten Petersson et al. (1984) vor (Tabelle 5).

Tabelle 5: Bewertungssystem apikaler Parodontitiden nach Petersson et al. (1984)

Kategorie	Interpretation
1	Sicher kein pathologischer Befund
2	Wahrscheinlich kein pathologischer Befund
3	Möglicherweise kein pathologischer Befund
4	Möglicherweise pathologischer Befund
5	Wahrscheinlich pathologischer Befund
6	Sicherer pathologischer Befund

Die Definitionen von „wahrscheinlich“ und „nicht wahrscheinlich“ veranschaulichen, dass ein Röntgenbild den periapikalen Zustand nicht immer zweifelsfrei wiedergeben kann und die Beurteilung des/r Betrachters*in Unsicherheiten unterliegt, weshalb die Klassifizierung des PRI nach Reit und Gröndahl (1983) für epidemiologische Studien geeignet erscheint. Eine noch detailliertere Unterscheidung der Unsicherheit ist hingegen wenig sinnvoll, da eine so präzise Differenzierung von „wahrscheinlich“ und „möglicherweise“ auf Röntgenaufnahmen nur vereinzelt bis gar nicht möglich ist. Petersson et al. (1986) erweiterten ihre Bewertungskriterien in einer darauffolgenden Studie um die Therapieart (Pulpotomie oder Wurzelkanalfüllung) sowie die Qualität der Wurzelkanalfüllung (vollständiger, unvollständiger Verschluss oder überfüllter Wurzelkanal). Der periapikale Status wurde anhand An- oder Abwesenheit einer periapikalen Aufhellung bewertet oder als nicht beurteilbar zugeordnet.

Bergström et al. (1987) analysierten den apikalen Status anhand quantitativer Kriterien: Pathologisch erweiterter Parodontalspalt, Radioluzenz kleiner als 3 mm, Radioluzenz größer als 3 mm, keine Radioluzenz. Sie bewerteten darüber hinaus die Qualität der Wurzelkanalfüllungen anhand von Länge und Homogenität (Tabelle 6, Seite 38).

Tabelle 6: Bewertungen der Qualität von Wurzelkanalfüllungen nach Bergström et al. (1987)

Wurzelkanalfüllung bis 2 mm vom Apex entfernt und homogen
Wurzelkanalfüllung bis 2 mm vom Apex entfernt und inhomogen
Wurzelkanalfüllung weiter als 2 mm vom Apex entfernt und homogen
Wurzelkanalfüllung weiter als 2 mm vom Apex entfernt und inhomogen
Wurzelkanalfüllung überextendiert
Pulpotomie

Brynolf (1967) hingegen stellte den radiologischen Bewertungen der apikalen Läsionen die histologischen Befunde gegenüber. Hieraus entstanden sieben detaillierte Stufen, die den Zustand des Apex beschrieben. Auf Basis dieser histologisch-radiologischen Skalierung entwickelten Orstavik et al. (1986) den „Periapikalen Index“ (PAI) mit fünf Stufen. Dieser ermöglicht anhand von Referenzbildern aus der Untersuchung von Brynolf die Zuordnung des apikalen Befundes zu einer der fünf histologisch graduierten Graduierungen. Dies soll eine standardisierte histologisch basierte Einschätzung der Röntgenbilder ermöglichen. Zusammengefasst sind Kategorie 1 als gesund, 2 und 3 als unsicher zu bewerten, während Kategorie 4 und 5 als erkrankt zu beurteilen sind.

Für die Beurteilung apikaler Parodontitiden in DVTs gibt es gesonderte Indizes (Sisli et al. 2021). Vergleiche zwischen dem PAI, dem PRI und dem Strindberg-System ergaben jedoch keine eindeutige Überlegenheit eines Index (Tarcin et al. 2015). Der Einsatz computergestützter densitometrischer Methoden zur Reduktion des Untersuchereinflusses erlaubt eine detaillierte Bewertung der zeitlichen Entwicklung einer apikalen Läsion, es wurde jedoch kein signifikanter Unterschied im Vergleich zur Anwendung des PAI festgestellt (Delano et al. 2001).

2 Material und Methode

2.1 Voruntersuchung und Untersucher*innenkalibrierung

Die Voruntersuchung diente einerseits der Untersucher*innenkalibrierung und andererseits der Überprüfung des Untersuchungsbogens. Der Untersuchungsbogen basierte auf einer Vorlage aus vorangegangenen Studien und wurde geringfügig angepasst (Hülsmann et al. 1991; Hülsmann et al. 1995; Hülsmann und Snezna 1998; Heppeler und Hülsmann 2010; Hülsmann und Hammerstein-Loxten 2014). Es wurden 25 zufällig ausgewählte Orthopantomogramme bewertet und die Ergebnisse zur Kalibrierung gemeinsam besprochen.

2.2 Hauptuntersuchung

2.2.1 Untersuchungsgut

Anhand der Dokumentation der Röntgenabteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde wurden zum Beginn der Studie aus 2020 zurückgehend 500 konsekutive Patient*innen, älter als 18 Jahre, identifiziert bei denen während der ersten Konsultation eine Röntgenübersichtsaufnahme angefertigt wurde. Die Röntgenaufnahmen wurden von zwei kalibrierten Untersucher*innen mit Hilfe des Auswertungsbogens (Abbildung A 1: Bewertungsbogen Hauptuntersuchung, Seite 77) untersucht. Eine vorliegende Einwilligung in die Verwendung der eigenen Daten und Unterlagen zu wissenschaftlichen Zwecken sowie eine ausreichende Qualität der Röntgenaufnahme waren Voraussetzungen zum Einschluss in die Studie. Ausgeschlossen wurden Patient*innen, die zum Zeitpunkt der Aufnahme jünger als 18 Jahre oder zahnlos waren. Weiterhin führten eine fehlende Einwilligung in die Verwendung der eigenen Daten und Unterlagen zu wissenschaftlichen Zwecken oder die unzureichende Qualität der Röntgenaufnahme zum Ausschluss. Bei mehrfacher Anfertigung von Orthopantomogrammen innerhalb des Untersuchungszeitraumes wurde nur die zuerst angefertigte Aufnahme befundet.

2.2.2 Untersucher*innen

Alle Röntgenbilder wurden zunächst von zwei Untersucher*innen bewertet. Ein Untersucher ist Zahnarzt mit 37-jähriger klinischer Behandlungserfahrung, sein

Behandlungsschwerpunkt ist das Gebiet der Endodontie. Die zweite Untersucherin ist Zahnärztin mit zweijähriger klinischer Behandlungserfahrung.

2.2.3 Vorgehen

Die Auswertungsbögen waren anonymisiert: sie wurden vor der Untersuchung nummeriert (1 – 500) und nach Mischen zufällig den Patient*innen zugeordnet. Der Erfassungsbogen enthielt keine Namen oder Daten, mit deren Hilfe eine Decodierung möglich wäre. Nach Abschluss der Auswertung war eine Zuordnung der Bögen zu den Patient*innen nicht mehr möglich. Die anschließende statistische Auswertung erfolgte ebenfalls anonymisiert. Nur die beiden beteiligten Ärzt*innen hatten Zugang zu den erhobenen Daten.

Die Befundung der Orthopantomogramme wurde mit Hilfe eines Röntgenbildbetrachters (Firma Maier, Garmisch-Partenkirchen) in abgedunkelter Umgebung ohne störende Lichteinflüsse durchgeführt. Zur Verbesserung der Detailauswertung wurde eine Lichtabschirmung des Randes mit Vergrößerungslupe gewählt. Die Dokumentation erfolgte in Papierform in den Auswertungsbögen. Die Untersucher*innen bewerteten alle Bilder zunächst unabhängig voneinander, bei interindividuellen Unterschieden größer gleich zwei Stufen, fand eine Besprechung der fraglichen Befunde statt. Im Zweifel wurde das Ergebnis des erfahreneren Untersuchers gewertet.

2.2.4 Kriterien und Merkmalsausprägungen

Im Auswertungsbogen wurden eine zufällig zugeordnete Patient*innenummer, Geburtsdatum, Geschlecht sowie das Aufnahmedatum registriert. Alle Patient*innen waren gesetzlich krankenversichert. Zur Befunderhebung fanden folgende Bewertungskriterien Anwendung:

2.2.4.1 Zahn und Zahnposition

Fehlende Zähne wurden auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert. Die dritten Molaren wurden prinzipiell nicht berücksichtigt und wurden deshalb auch nicht als „fehlend“ erfasst. Implantate und deren apikaler Status waren nicht Teil dieser Studie, der ersetzte Zahn wurde daher als „fehlend“ eingetragen. Ebenso wurde mit persistierenden Milchzähnen verfahren. Bei einigen Patient*innen war ein

reduzierter Restzahnbestand vorzufinden, so dass eine Verwechslung ähnlicher Zähne nicht mit vollständiger Sicherheit auszuschließen war. War die Zahnposition unklar, so erfolgte eine Orientierung an der gegenseitigen Kieferhälfte. Weiterhin wurden anatomische und therapeutische Zusammenhänge zur Einordnung herangezogen. Beispielsweise gab ein in jedem Quadranten fehlender Prämolare mit geschlossener Lücke Hinweis auf eine kieferorthopädische Vorbehandlung. In diesem Fall wurden die verbleibenden Prämolaren als zweite Prämolaren dokumentiert.

2.2.4.2 Wurzelkanalfüllung

Ein Zahn wurde als wurzelkanalgefüllt registriert, wenn er radioopakes Füllmaterial innerhalb einer Wurzel aufwies bzw. offensichtlich instrumentiert wurde. Bei der Beurteilung der Wurzelkanalfüllung wurden eine Bewertung der Länge und eine Einschätzung der Qualität vorgenommen.

2.2.4.2.1 Länge der Wurzelkanalfüllung

Die Länge der Wurzelkanalfüllung wurde anhand der Distanz zum röntgenologischen Apex beurteilt und wie folgt unterteilt: > 2 mm zu kurz, < 2 mm zu kurz, 0 – 1 mm, überfüllt.

Bei mehrwurzeligen Zähnen wurde jeweils die kürzeste Länge dokumentiert. Sollte ein Zahn einen nicht instrumentierten Kanal aufweisen, wurde dieser in der Kategorie „> 2 mm zu kurz“ registriert.

2.2.4.2.2 Qualität der Wurzelkanalfüllung

Bei der Beurteilung der Qualität der Kondensation wurden die röntgenologische Homogenität und Wandständigkeit der Obturation gemeinsam beurteilt. Die Qualität wurde wie folgt dokumentiert: gut, ausreichend, mangelhaft, unklar.

Voraussetzung für eine gute bzw. ausreichende Qualität der Obturation war weiterhin die Länge der Wurzelkanalfüllung. Es wurde davon ausgegangen, dass ein deutlich zu kurz gefüllter Kanal (> 2 mm zu kurz) nicht ausreichend homogen gefüllt sein kann. Die Kategorie „unklar“ fand lediglich bei punktueller Unschärfe, kleinflächigen Artefakten oder röntgenologischen Überlagerungen Anwendung. Auch hier zählte bei Zähnen, die mehr als eine Wurzel hatten, der schlechteste Befund.

2.2.4.3 Befund des Periapex

Zur Beurteilung der periradikulären Region wurde der Periapical Probability Index (PRI) nach Reit und Gröndahl (1983) verwendet. Die Bewertung umfasst fünf Kategorien, die bereits in Tabelle 4 (Seite 36) vorgestellt wurden. Bei mehrwurzeligen Zähnen wurde ebenfalls der schlechteste Befund dokumentiert.

2.2.4.4 Sonstige Befunde

Eine Untergruppe der wurzelkanalbehandelten Zähne besteht aus wurzelspitzenresezierten Zähnen. Bei einer erkennbar durchgeführten Wurzelspitzenresektion (WSR) wurde dies vermerkt, die Länge der Wurzelkanalfüllung wurde nicht bewertet.

Lag röntgenologisch ein parodontaler Knochenabbau vor, der Zweifel an einer allein endodontischen Ursache hervorrief, wurde zusätzlich zur Befundung des Zahnes ein Vermerk in der Spalte „parodontale Ursache“ eingetragen. Diese Zähne wurden in die Auswertung des Behandlungsbedarfs nicht einbezogen. Bei Vorliegen einer Karies, die bereits bis in die unmittelbare Nähe der Pulpa vorgeschritten war, wurde „Caries progressiva profunda“ notiert.

Bei erkennbar durchgeführter Pulpotomie wurde ein entsprechender Vermerk („Amputation“) dokumentiert. In der Kategorie „Sonstiges“ wurden Wurzelreste, Perforationen, Instrumentenfrakturen, Silberstifte oder Traumata dokumentiert. In die Kategorie „Wurzelreste“ wurden alle aus röntgenologischer Sicht tief zerstörten und nicht erhaltungswürdigen Zähne eingeteilt, jedoch keine Bewertung des PRIs oder andere Kategorisierungen durchgeführt.

2.3 Ermittlung des endodontischen Behandlungsbedarfs

Der in dieser Studie ermittelte Behandlungsbedarf umfasst zum einen Primärbehandlungen bei vorhandener periapikaler Parodontitis oder einer Caries progressiva profunda. Zudem werden auch notwendige Revisionsbehandlungen an Zähnen einbezogen, bei denen eine Wurzelkanalbehandlung nicht erfolgreich war und eine apikale Parodontitis diagnostiziert wurde. Entsprechend wurde notiert, ob endodontischer Behandlungsbedarf vorlag, es unklar war, ob Behandlungsbedarf besteht oder dieser ausgeschlossen werden konnte.

2.3.1 Behandlungsbedarf an Zähnen mit oder ohne Wurzelkanalbehandlung

Auf Basis der dokumentierten Befunde wurde der Behandlungsbedarf folgendermaßen bestimmt: Zähne mit einem Befund eines/r PRI von 1 oder 2 sind nicht behandlungsbedürftig; PRI von 3 oder 4 weisen einen nicht eindeutigen apikalen Befund auf, weshalb auch der Behandlungsbedarf unklar ist; PRI von 5 sind behandlungsbedürftig; Zähne mit einer Caries progressiva profunda.

2.3.2 Behandlungsbedarf von Zähnen mit Wurzelkanalbehandlung

Für Zähne mit sicherem Vorliegen einer periapikalen Gewebedestruktion (PRI von 5) wurde die Notwendigkeit einer endodontischen Revisionsbehandlung dokumentiert. Ebenso wurde dies bei Zähnen mit einem PRI von 3 oder 4 bei gleichzeitigem Vorliegen mangelhafter Qualität der Wurzelkanalfüllung, unzureichender Länge der Wurzelkanalfüllung (Abstand zum röntgenologischen Foramen > 2 mm) oder überextendierter Wurzelkanalfüllung (Guttapercha mehr als 1 mm über den Apex hinaus) dokumentiert.

Der Behandlungsbedarf wurzelkanalbehandelter Zähne ist unklar, wenn die Qualität und Länge der Wurzelkanalfüllung ausreichend bzw. gut sind, der PRI jedoch mit einem Wert von 3 oder 4 dokumentiert wurde. Weiterhin ist er unklar, wenn die Qualität und Länge der Wurzelkanalfüllung mangelhaft sind, der PRI jedoch 1 oder 2 angegeben wurde.

2.3.3 Maximaler und minimaler Behandlungsbedarf

In einigen Fällen ist der Behandlungsbedarf aufgrund des nicht eindeutigen Befundes unklar, weshalb sowohl bei den wurzelkanalgefüllten als auch bei nicht endodontisch behandelten Zähnen in einen minimalen und einen maximalen Behandlungsbedarf differenziert wurden. Der minimale Behandlungsbedarf ergibt sich aus allen Fällen, die mit einem PRI von 5 bewertet wurden. Der maximale Behandlungsbedarf addiert zum minimalen Bedarf auch noch die Fälle, die mit einem PRI von 4 und/oder einer tiefen Karies befundet wurden.

Bei den wurzelkanalbehandelten Zähnen werden zum maximalen Behandlungsbedarf noch die Zähne aufsummiert, die trotz unklarem PRI aufgrund ihrer Wurzelkanalfüllung als insuffizient kategorisiert wurden.

2.4 Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Bewertungen

Es wurden sowohl die interindividuelle Übereinstimmung als auch die intraindividuelle Reproduzierbarkeit ermittelt. Die interindividuelle Übereinstimmung und die Ermittlung der intraindividuellen Reproduzierbarkeit erfolgten anhand einer erneuten Bewertung zwanzig zufällig ausgewählter Orthopantomogrammaufnahmen der Hauptuntersuchung. Als Kriterien fanden drei Kategorien Anwendung. Kategorie 1 lag vor, wenn der PRI zu beiden Bewertungszeitpunkten gleich ist. Kategorie 2 war gegeben, wenn der PRI sich um eine Bewertungsstufe unterscheidet. Unterscheidet sich der PRI um zwei oder mehr Bewertungsstufen, so lag Kategorie 3 vor.

Sobald die Kategorie 1 oder 2 vorlag, wurde die Diagnose als „sicher“ eingeordnet. Die Überprüfung der intra- und interindividuellen Übereinstimmung erfolgte anhand des linear gewichteten Cohens Kappa-Tests.

2.5 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Patient*innendaten und die statistische Aufarbeitung geschahen mit Hilfe des Statistikprogrammes IBM SPSS Statistics® 27.0.1.0. Zur weiteren Analyse wurden die Ergebnisse in einen patient*innenbezogenen und einen zahnbezogenen Bereich unterteilt. Es wurden zunächst Häufigkeitstabellen angefertigt und anhand der relativen Verteilung deskriptive Vergleiche angestellt. Zur Ermittlung der Signifikanzen wurde weiterhin ein Signifikanzniveau $p \leq 5\%$ festgelegt. Bei der Überprüfung des Signifikanzniveaus der Geschlechtervarianz wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Patient*innenbezogene Befunde

3.1.1 Alters- und Geschlechterverteilung

In der Studie wurden nur adulte Gebisse befundet, weshalb das Mindestalter 18 Jahre betrug. Das Durchschnittsalter der Patient*innen lag bei 45,0 Jahren (Standardabweichung +/-17,7 Jahre), der/die älteste Studienteilnehmer*in war 87 Jahre alt. Die Altersstruktur der Studienpopulation wurde in Altersklassen im Zehnjahreszyklus untergliedert, von dieser Skalierung abweichend waren die jüngste und die älteste Gruppe. Die größte Altersgruppe war die der 18- bis 25-Jährigen. Die Altersverteilung der Studienpopulation ist nicht normalverteilt, sondern weist eine linkssteile Verteilung auf. Dies wurde durch den Kolmogorov-Smirnov-Test bestätigt. Der Anteil männlicher Studienteilnehmer lag mit 54,6% höher als der weiblicher Teilnehmerinnen mit 45,4%. Die Verteilung von Alter und Geschlecht der Studienpopulation ist in Tabelle 7 abgebildet.

Tabelle 7: Alters- und Geschlechterverteilung der Studienteilnehmer*innen

	Geschlecht		
Altersgruppe	weiblich	männlich	Summe
18 bis 25 Jahre	43	53	96 (19,2%)
26 bis 35 Jahre	33	57	90 (18,0%)
36 bis 45 Jahre	25	41	66 (13,2%)
46 bis 55 Jahre	53	41	94 (18,8%)
56 bis 65 Jahre	34	50	84 (16,8%)
66 bis 75 Jahre	24	21	45 (9,0%)
76 bis 85 Jahre	13	8	21 (4,2%)
86 Jahre und älter	2	2	4 (0,8%)
Summe	227	273	500 (100%)

3.1.2 Zahnzahl

Zur Darstellung des Zahnbestandes des Patient*innengutes wurde weiterhin die Altersskalierung genutzt. Die Verteilung der durchschnittlichen Zahnzahl ist in Tabelle 8 abgebildet. Insgesamt wurden 12.088 Zähne gezählt, wobei die dritten Molaren nicht inbegriffen waren. Im Durchschnitt besaßen die Untersuchten 24,2 Zähne. Weibliche Patientinnen lagen etwas darunter mit durchschnittlich 24,1 Zähnen, männliche Studienteilnehmer mit 24,3 minimal darüber. Insgesamt wurde eine Anzahl von 1.912 fehlenden Zähnen registriert.

Tabelle 8: Durchschnittliche Zahnzahl

Altersgruppe	Geschlecht		gesamt
	weiblich	männlich	
18 bis 25 Jahre	27,4	27,4	27,4
26 bis 35 Jahre	27,4	26,6	26,9
36 bis 45 Jahre	25,3	26,0	25,7 ^a
46 bis 55 Jahre	23,1	23,6	23,3 ^{b c d}
56 bis 65 Jahre	23,1	20,2	21,4 ^{e f g}
66 bis 75 Jahre	20,8	20,2	20,5 ^{h i j}
76 bis 85 Jahre	15,3	20,9	17,4 ^{k l m}
86 Jahre und älter	21,5	13,0	17,3 ^{n o}
Durchschnitt	24,1	24,3	24,2

- ^a Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 36 bis 45 Jahre und 18 bis 25 Jahre ($p = 0,003$)
- ^b Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 46 bis 55 Jahre und 18 bis 25 Jahre ($p < 0,001$)
- ^c Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 46 bis 55 Jahre und 26 bis 35 Jahre ($p < 0,001$)
- ^d Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 46 bis 55 Jahre und 36 bis 45 Jahre ($p = 0,013$)

- e Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 56 bis 65 Jahre und 18 bis 25 Jahre ($p < 0,001$)
- f Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 56 bis 65 Jahre und 26 bis 35 Jahre ($p < 0,001$)
- g Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 56 bis 65 Jahre und 36 bis 45 Jahre ($p < 0,001$)
- h Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 66 bis 75 Jahre und 18 bis 25 Jahre ($p < 0,001$)
- i Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 66 bis 75 Jahre und 26 bis 35 Jahre ($p < 0,001$)
- j Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 66 bis 75 Jahre und 36 bis 45 Jahre ($p < 0,001$)
- k Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 76 bis 85 Jahre und 18 bis 25 Jahre ($p < 0,001$)
- l Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 76 bis 85 Jahre und 26 bis 35 Jahre ($p < 0,001$)
- m Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 76 bis 85 Jahre und 36 bis 45 Jahre ($p < 0,001$)
- n Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 86 Jahre und älter und 18 bis 25 Jahre ($p = 0,002$)
- o Statistisch signifikanter Unterschied zwischen Altersgruppe 86 Jahre und älter und 26 bis 35 Jahre ($p = 0,007$)

Die Verteilung des Zahnbestandes in den verschiedenen Altersgruppen ist im Boxplot-Diagramm (Abbildung 1, Seite 48) dargestellt. Dargestellt sind Median, Interquartilsabstand (IQA) sowie die Ausreißer ($< Q1 - 1,5 \times IQA$ oder $> Q3 + 1,5 \times IQA$).

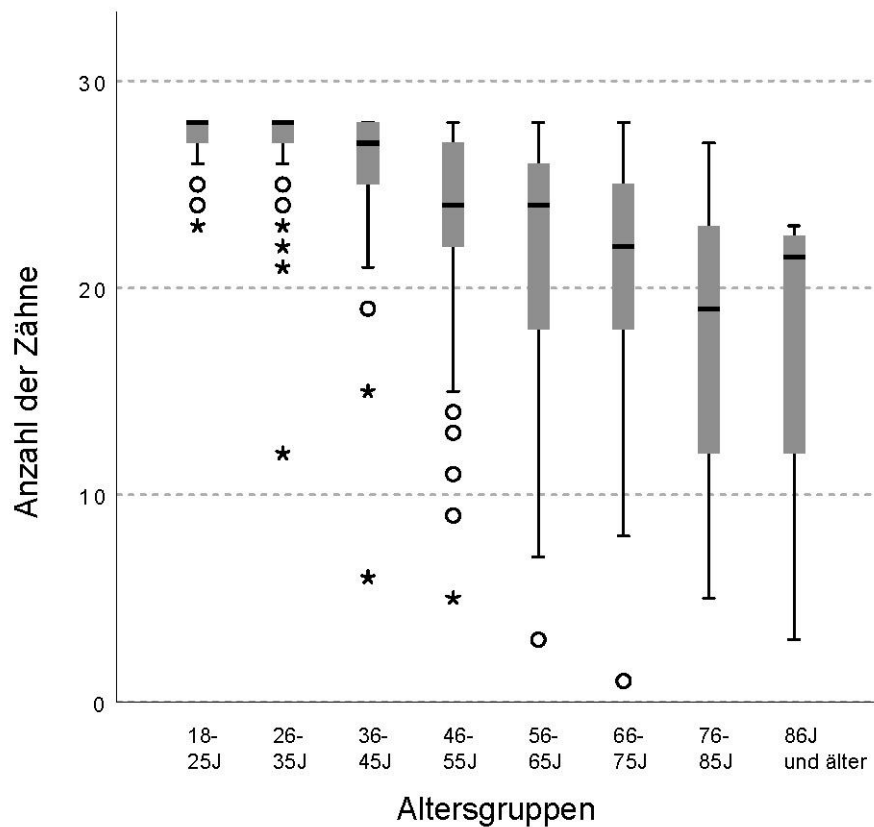


Abbildung 1: Boxplot-Diagramm Zahnanzahl der Altersgruppen

3.1.3 Apikale Parodontitis

Die Einordnung als apikale Parodontitis umfasst die Werte des Periapical Probability Index von 3 bis 5. Demnach wiesen lediglich 280 (56,0%) aller Patient*innen vollständig unauffällige, als gesund zu bewertende Apices mit einem PRI von 1 oder 2 auf. Einhundertsiebzehn Patient*innen (23,4%) wiesen einen Zahn mit apikaler Parodontitis auf, 103 (20,6%) sogar zwei oder mehrere Zähne mit apikaler Aufhellung. Bei einer Patientin wurde eine Zahl von sieben apikalen Parodontitiden erfasst. Einen Unterschied bei dem Vorhandensein apikaler Parodontitiden zwischen den Geschlechtern zeigte sich zu Ungunsten der männlichen Studienteilnehmer (Männer: 62,7%, Frauen: 37,3% mit einer oder mehr periapikalen Aufhellungen; $p = 0,001$). Beim Vergleich der Altersgruppen sind Patient*innen der jüngsten Gruppe am wenigsten häufig von apikalen Parodontitiden betroffen, am häufigsten weisen Patient*innen der Altersgruppe der 76- bis 85-Jährigen eine pathologische Veränderung am Apex auf (11,5% im Vergleich zu 81,0%). Eine Übersicht über Alters- und Geschlechterverteilung der Prävalenz apikaler Parodontitiden geben Tabelle 9 sowie die Abbildung 2, Seite 49.

Tabelle 9: Patient*innen mit mindestens einer Parodontitis apicalis nach Alter und Geschlecht

	Altersgruppe							
	18 – 25J	26 – 35J	36 – 45J	46 – 55J	56 – 65J	66 – 75J	76 – 85J	86+J
männlich								
n	8	21	20	25	39	15	8	2
%	15,1%	36,8%	48,8%	61,0%	78,0%	71,4%	100,0%	100,0%
weiblich								
n	3	10	6	25	12	16	9	1
%	7,0%	30,3%	24,0%	47,2%	35,3%	66,7%	69,2%	50,0%
gesamt								
n	11	31	26	50	51	31	17	3
%	11,5%	34,4%	39,4%	53,2%	60,7%	68,9%	81,0%	75,0%

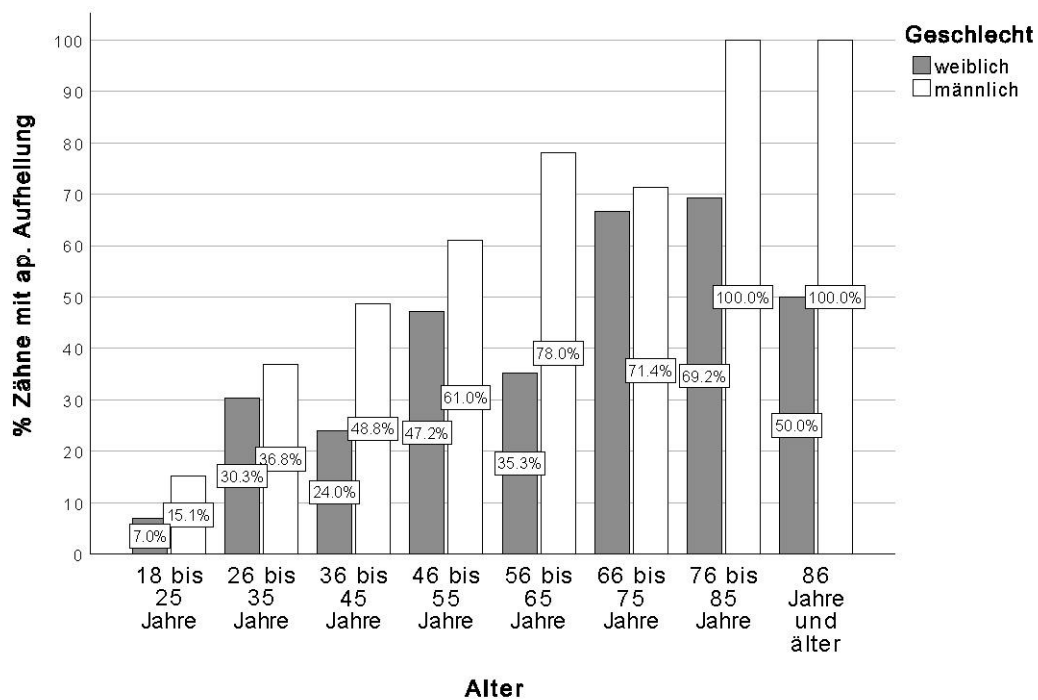


Abbildung 2: Patient*innen mit mindestens einer Parodontitis apicalis nach Alter und Geschlecht

3.1.4 Wurzelkanalbehandelte Zähne

Bei 250 Patient*innen wurden 637 wurzelkanalgefüllte Zähne ermittelt, das bedeutet 2,6 Wurzelkanalfüllungen pro endodontisch versorgtem/r Patienten/in. Bezogen auf die gesamte Studienpopulation sind das im Durchschnitt 1,3 gefüllte Zähne pro Patient*in.

3.2 Zahnbezogene Befunde

3.2.1 Periapikaler Status nicht-wurzelkanalbehandelter Zähne

Bei insgesamt 12.088 Zähnen wurde der periapikale Status bewertet, hiervon 11.451 Zähne ohne Wurzelkanalbehandlung. Der PRI Wert 1 wurde hier am häufigsten vergeben (10.716 Zähne, entspricht 95,8%). Dennoch wurden 3,2% dieser Zähne mit einem PRI von 3 oder höher beurteilt, dies entspricht 3,0% am Gesamtzahnbestand. Einen Überblick über die Verteilung des PRI bei nicht-gefüllten Zähnen gibt Tabelle 10.

Tabelle 10: PRI bei nicht-wurzelkanalgefüllten Zähnen

	Nicht-wurzelkanalgefüllte Zähne				
	PRI 1	PRI 2	PRI 3	PRI 4	PRI 5
n = 11.182	10.716	103	95	65	203
	95,8%	0,9%	0,8%	0,6%	1,8%

3.2.2 Zähne mit Befund "Caries profunda"

In diese Kategorie wurden Zähne eingeordnet, welche eine pulpanahe Karies aufwiesen und bei denen somit die Notwendigkeit einer endodontischen Behandlung nicht ausgeschlossen werden kann. Es wurden 380 Zähne bei 159 Patient*innen, somit 1,3 Zähne pro Patient*in bezogen auf die gesamte Studienpopulation erfasst.

3.2.3 Häufigkeit von Wurzelkanalfüllungen und periapikaler Status wurzelkanalbehandelter Zähne

Bei 637 Zähnen war eine endodontische Behandlung in Form einer Wurzelkanalfüllung durchgeführt worden. Der Anteil wurzelkanalgefüllter Zähne an der Gesamtzahl der vorhandenen Zähne beträgt 5,3%.

Tabelle 11 zeigt die Verteilung, welche Zähne am häufigsten wurzelkanalgefüllt waren. In dieser Studienpopulation waren sowohl in absoluten als auch in relativen Zahlen die ersten Molaren am häufigsten wurzelkanalbehandelt. Eine Diskrepanz in der Anzahl von Obturationen zeigt sich generell beim Vergleich von Ober- zu Unterkiefer. Besonders im Frontzahnbereich sind signifikant mehr Zähne im Oberkiefer als im Unterkiefer wurzelkanalbehandelt ($p < 0,001$).

Tabelle 11: Verteilung und Anzahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung

	Wurzelkanalgefüllte Zähne			
	Anzahl (n)	Häufigkeit (%)	davon Oberkiefer(n)	davon Unterkiefer (n)
1. Inzisivus	67	10,5%	61	6
2. Inzisivus	55	8,6%	49	6
Caninus	52	8,2%	40	12
1. Prämolare	89	14,0%	61	28
2. Prämolare	143	22,4%	83	60
1. Molar	150	23,5%	75	75
2. Molar	81	12,7%	38	43
Gesamt	637	100%	407	230

Mehr als die Hälfte dieser Füllungen (52,6%) wiesen eine pathologische Veränderung am Apex auf ($PRI > 2$). Die Verteilung des PRI bei den wurzelkanalgefüllten Zähnen gibt Tabelle 12 (Seite 52) wieder.

Tabelle 12: PRI bei wurzelkanalgefüllten Zähnen

	Wurzelkanalgefüllte Zähne				
	PRI 1	PRI 2	PRI 3	PRI 4	PRI 5
n = 637	191	111	57	55	223
	30,0%	17,4%	9,0%	8,6%	35,0%

Bei 43 dieser Zähne war eine Wurzelspitzenresektion durchgeführt worden. Diese Zähne wurden mit dem PRI beurteilt und zur weiteren Auswertung markiert, ihre Länge wurde nicht bewertet.

3.2.4 Homogenität und Länge der Wurzelkanalfüllungen

Für die wurzelkanalgefüllten, jedoch nicht wurzelspitzenresezierten Zähne wurde eine Beurteilung von Länge und Homogenität durchgeführt. Pulpotomierte Zähne wurden von dieser Bewertung ausgenommen. Die Längenbewertung der Wurzelkanalfüllungen wurde anhand von vier Kategorien durchgeführt. Bei 232 Zähnen war die Füllung deutlich zu kurz und mehr als 2 mm vom Apex entfernt, bei 159 Zähnen erstreckte sich die Wurzelkanalfüllung bis 2 mm vor den Apex. Eine gute Länge der Obturation, d. h. eine Extension auf 0 – 1 mm vor den Apex, wurde bei 117 Zähnen notiert, überfüllt waren 19 Zähne.

Die Homogenität und Wandständigkeit der Wurzelkanalfüllung wurden gemeinsam zur Beurteilung der Füllungsqualität verwendet. Eine Unterteilung in „gut“, „ausreichend“ und „mangelhaft“ wurde vorgenommen, die Bewertung „unklar“ wurde bei punktuellen Unschärfen, kleinflächigen Artefakten oder röntgenologischen Überlagerungen angewendet. Eine gute radiologische Qualität der Obturation wurde bei 165 Wurzelkanalfüllungen registriert, 239 waren hingegen mangelhaft. Eine Übersicht zur Bewertung von Länge und Qualität der Wurzelkanalfüllungen findet sich in Tabelle 13 und Tabelle 14, Seite 53.

Tabelle 13: Länge der Wurzelkanalfüllungen

	Wurzelkanalgefüllte, nicht resezierte Zähne			
	>2 mm zu kurz	<2 mm zu kurz	0 – 1 mm	überfüllt
n = 587	232	159	177	19
	39,5%	27,1%	30,2%	3,2%

Tabelle 14: Qualität der Wurzelkanalfüllungen

	Wurzelkanalgefüllte Zähne			
	gut	ausreichend	mangelhaft	unklar
n = 587	165	171	239	12
	28,1%	29,1%	40,7%	2,0%

3.2.5 Wurzelspitzenresektionen

Von den 637 wurzelkanalgefüllten Zähnen waren 43 wurzelspitzenreseziert. Eine Übersicht über die Verteilung des ermittelten PRI findet sich in Tabelle 15.

Tabelle 15: PRI bei wurzelspitzenresezierten Zähnen

	Wurzelspitzenresezierte Zähne				
	PRI 1	PRI 2	PRI 3	PRI 4	PRI 5
n = 43	4	3	11	2	23
	9,3%	7,0%	25,6%	4,7%	53,5%

3.2.6 Sonstiges

Es wurden sieben Pulpotomien erfasst. Bei drei dieser Zähne zeigte sich ein PRI von 3 oder größer. Insgesamt wurden 269 bis auf die Gingiva zerstörte und somit nicht erhaltungswürdige Zähne (Wurzelreste) gezählt.

Die seltenen Befunde „Perforationen, Instrumentenfrakturen, Silberstifte oder Traumata“ wurden insgesamt nur sieben Mal erfasst. Hierbei fanden sich keine Perforationen, zwei Instrumentenfrakturen, zwei Silberstiftfüllungen und drei eindeutig zu diagnostizierende Frontzahntraumata.

3.3 Ermittlung des Behandlungsbedarfs

3.3.1 Endodontischer Behandlungsbedarf bei wurzelkanalbehandelten Zähnen

Der minimale Behandlungsbedarf umfasst die Zähne, die mit einem PRI von 5 bewertet wurden und lag bei 223 von 637 (35,0%) wurzelkanalgefüllten Zähnen.

Der maximale Behandlungsbedarf umfasst zusätzlich zum minimalen Behandlungsbedarf revisionsbedürftige Wurzelkanalfüllungen mit einem PRI von 3 oder 4 und betrug 288 (45,2%). Revisionsbedürftig waren Zähne mit mangelhafter Qualität der Wurzelkanalfüllung, unzureichender Länge der Wurzelkanalfüllung (Abstand zum röntgenologischen Foramen > 2 mm) sowie überfüllte Wurzelkanalfüllung bei gleichzeitigem Vorliegen von PRI 3 oder 4.

Fraglich war der Behandlungsbedarf bei insuffizient obturierten Zähnen, die jedoch einen PRI von 1 oder 2 aufwiesen oder bei akzeptabel gefüllten Zähnen, die aber mit einem PRI von 3 oder 4 bewertet wurden. Der gesamte Behandlungsbedarf endodontisch behandelter Zähne (Revisionsbedarf) findet sich in Tabelle 16.

Tabelle 16: Behandlungsbedarf bei wurzelkanalgefüllten Zähnen

	Wurzelkanalgefüllte Zähne			
	minimaler Handlungsbedarf	notwendige Revisionen	fragwürdige WF	suffiziente WF
n = 637	223	65	161	188
	35,0%	10,2%	25,3%	29,5%

3.3.2 Behandlungsbedarf bei nicht wurzelkanalbehandelten Zähnen

Auch bei den nicht wurzelkanalgefüllten Zähnen ergibt sich der minimale Behandlungsbedarf aus den mit PRI 5 bewerteten Zähnen. Dies waren 203 Zähne (1,8%) mit eindeutiger apikaler Gewebedestruktion.

Zur Ermittlung des maximalen Behandlungsbedarfs wurden alle nicht instrumentierten Zähne mit einem PRI von 4 (65 = 0,6%) sowie pulpanah kariöse Zähne (380 = 3,1%) hinzuaddiert, Mehrfachbefunde (z. B. pulpanahe Karies und PRI 4) wurden subtrahiert. Der maximale Behandlungsbedarf betrug bei den nicht wurzelkanalgefüllten Zähnen 578 (5,1%).

3.4 Reproduzierbarkeit der Bewertungen

Die Nachuntersuchung umfasste 20 Röntgenaufnahmen, die zufällig aus dem gesamten Untersuchungsgut ausgewählt wurden. Eine erneute Befundung der Orthopantomogrammaufnahmen erfasste die intraindividuelle Abweichung. Bei einer Differenz von maximal einer Bewertungsstufe (Kategorie 1 und 2), galt die Diagnose als gesichert.

3.4.1 Interindividuelle Übereinstimmung

Insgesamt wurden 492 Zähne nachuntersucht. Hiervon entfielen 95,3% auf Kategorie 1 (vollständige Übereinstimmung), 1,8% auf Kategorie 2 (Abweichung um 1 Bewertungsstufe) und 2,8% auf Kategorie 3 (Abweichung um > 1 Bewertungsstufe). Die Diagnose galt in 97,2% der Fälle als gesichert (Summe aus Kategorie 1 und 2). Die Nachuntersuchung enthielt 466 nicht instrumentierte Zähne. Hier von wurden 97,6% in Kategorie 1 (vollständige Übereinstimmung), 0,6% in Kategorie 2 (Abweichung um 1 Bewertungsstufe) und 1,7% in Kategorie 3 (Abweichung um > 1 Bewertungsstufe) zugeordnet. Die Diagnose galt in 98,3% der Fälle als gesichert (Summe aus Kategorie 1 und 2). Entsprechend waren 26 Zähne der Nachuntersuchung wurzelkanalgefüllte Zähne. Hiervon gruppierten sich 53,8% in Kategorie 1 (vollständige Übereinstimmung), 23,1% in Kategorie 2 (Abweichung um 1 Bewertungsstufe) sowie ebenfalls 23,1% in Kategorie 3 (Abweichung um > 1 Bewertungsstufe). Die Diagnose galt in 76,9% der Fälle als gesichert (Summe aus Kategorie 1 und 2).

Der linear gewichtete Cohens Kappa für die interindividuelle Übereinstimmung lag bei 0,651 für nicht wurzelkanalbehandelte Zähne und 0,553 für wurzelkanalbehandelte Zähne und bestätigte „beachtliche Übereinstimmung“ sowie „mittelmäßige Übereinstimmung“ nach Landis und Koch (1977).

3.4.2 Intraindividuelle Übereinstimmung

Untersucher 1

Untersucher 1 ist Zahnarzt mit 37-jähriger klinischer Behandlungserfahrung und hat seinen Behandlungsschwerpunkt im Gebiet der Endodontie. Die linear gewichteten Cohens Kappa Werte für seine intraindividuelle Übereinstimmung liegen bei 0,620 für nicht wurzelkanalbehandelte Zähne und 0,571 für Zähne, die endodontisch behandelt wurden. Auch diese entsprechen der Kategorie „beachtliche Übereinstimmung“ und „mittelmäßige Übereinstimmung“ nach Landis und Koch (1977).

Untersucherin 2

Untersucherin 2 ist Zahnärztin mit zweijähriger klinischer Behandlungserfahrung. Die linear gewichtete Cohens Kappa Werte für ihre Übereinstimmung betragen 0,738 für Zähne ohne endodontische Behandlung und 0,846 für Zähne mit Wurzelkanalfüllung. Diese Ergebnisse sind ebenfalls in die von Landis und Koch (1977) definierte Kategorie der „beachtlichen“ und „(fast) vollkommene Übereinstimmung“ einzuordnen.

4 Diskussion

4.1 Material und Methode

4.1.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive epidemiologische Querschnittsuntersuchung von 500 Röntgenbildern des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen.

Da es sich um Momentaufnahmen handelt, konnte nur der Zahnstatus der Patient*innen zum jeweiligen Aufnahmezeitpunkt erhoben und keine Aussage über Erstdiagnose, den Therapieverlauf oder die Behandlungsumstände getroffen werden. Es ist nur möglich, hypothetische Zusammenhänge zwischen den untersuchten Parametern herzustellen. Trotz begrenzter Aussagekraft bietet das vorliegende Studiendesign Vorteile in der Durchführung und der Datenerhebung. Die Patient*innendaten lagen bereits vor, so dass in kurzer Zeit eine relativ hohe Anzahl von Datensätzen untersucht und ausgewertet werden konnte. Weiterhin wurden weder Strahlenbelastung für die Proband*innen generiert noch Kosten für etwaige Verlaufskontrollen erzeugt.

Die Verwendung von Orthopantomogrammen statt Zahnfilmstaten ist international üblich und dient daher der besseren Vergleichbarkeit. Da die Indikation für Orthopantomogrammaufnahmen vielseitig ist, bieten sie einen weitgehend umfassenden Überblick über den endodontischen Status der Patient*innenpopulation. Zahnstaten werden hingegen häufig bei parodontalen Fragestellungen angewendet und sind daher nicht repräsentativ, sondern bevorzugen eine Patient*innengruppe mit parodontalen Erkrankungen. Weiterhin wurden OPGs aus Erstvorstellungen der Patient*innen in der Klinik ausgewählt, wodurch eine übermäßige Konzentration auf klinikinterne Versorgungen vermieden wurde. Es ist vielmehr anzunehmen, dass die Mehrheit der vorhandenen endodontischen Versorgungen von Zahnärzt*innen in Göttingen und näherer oder weiterer Umgebung vorgenommen worden waren. Die Studienpopulation wurde bis auf die Altersbegrenzung der Volljährigkeit, die Einwilligung in die Studienteilnahme und den Ausschluss bei Zahnlosigkeit nicht vorselektiert. Der sozioökonomische Hintergrund der Patient*innen ist unbekannt, es ist davon auszugehen, dass es sich aufgrund der zahlreichen Behandlungsschwerpunkte der Klinik um eine repräsentative Stichprobe handelt. Die Anzahl der Studienteilnehmer*innen in vergleichbaren epidemiologischen Studien variiert zwischen 94 Patient*innen in der

belgischen Studie von Stassen et al. (2006) und 5.335 Proband*innen in der finnischen Untersuchung von Huuonen et al. (2017). Die Mehrzahl der Studien umfasst etwa 200 bis 300 Studienteilnehmer*innen, in einigen Studien wurden 800 bis über 1.000 Patient*innen untersucht (Berlinck et al. 2015; Buckley und Spangberg 1995; Cavalcante et al. 2003; De Cleen et al. 1993; Kalender et al. 2013; Loftus et al. 2005; Schulte et al. 1998). Die Anzahl von 500 Proband*innen ist demnach als durchschnittlich anzusehen.

4.1.2 Kriteriendefinition, Untersucher*innenkalibrierung und Grenzen der Untersuchung

Zur Reduktion von Fehldiagnosen wurden, wie von Eckerbom et al. (1986) und Reit und Gröndahl (1983) empfohlen, die vorher bestimmten Bewertungskriterien strikt eingehalten. An jedem Zahn wurde der PRI bestimmt, an jedem wurzelkanalbehandelten Zahn, mit Ausnahme der wurzelspitzenresezierten Zähne, zusätzlich die Länge und die Qualität der Wurzelkanalfüllung beurteilt. Ein PRI von 1 oder 2 kennzeichnet einen Zahn als gesund, während ein Zahn mit einem Wert von 4 oder 5 pathologische Verhältnisse aufweist. Der PRI mit dem Wert 3 ist kennzeichnend für unklare apikale Verhältnisse bzw. markiert den Übergang von gesunden zu kranken Knochenstrukturen. Je nach Zuordnung der Zähne mit einem Wert von 3 zu einer Diagnose als krank oder gesund, kann es zu einer Verzerrung des Gesamtbildes kommen. Kalender et al. (2013) und Kayahan et al. (2008) entschieden sich beispielsweise für eine Kennzeichnung als pathologisch ab einem PAI-Wert von 2. Loftus et al. (2005) hingegen begründeten die Einordnung als krankhaft erst ab einem PAI-Wert von 4 damit, eine Überbewertung der Erkrankung vermeiden zu wollen. In dieser Studie wurden, angelehnt an die Mehrzahl internationaler Studien, Zähne mit einem PRI oder PAI von 3 als krank definiert (Connert et al. 2019; Correia-Sousa et al. 2015; Da Silva et al. 2009; Dugas et al. 2003; Jersa und Kundzina 2013; Kamberi et al. 2011; Kim 2010; Kirkevang et al. 2001; Marques et al. 1998). Hierdurch kann jedoch insgesamt eine Verschiebung stattgefunden haben, bei der fragliche Zähne tendenziell eher als krank diagnostiziert wurden.

Bezüglich der Längenbestimmung der Wurzelkanalfüllungen wurde eine Einteilung in vier Kategorien vorgenommen. Eine Entfernung von 0 – 1 mm zum Apex wurde als ideal angesehen, wohingegen eine Obturation mit einer Entfernung von bis zu 2 mm vor den Apex ebenfalls als adäquat und suffizient beurteilt wurde. Entfernungen von mehr als 2 mm zum Apex wurden als insuffizient

angesehen, ebenso wie überfüllte Wurzelkanäle. Anzumerken ist hier, dass nicht bei allen Wurzelkanälen eine apikale Konstriktion als punktförmige Verengung und Zielpunkt für die Füllungslänge zu erkennen war, was die Beurteilung erschwerte. Marques et al. (1998) beurteilten Wurzelkanalfüllungen bis zu einer Entfernung von 3 mm zum Apex als suffizient. Schaeffer et al. (2005) sahen hingegen bei Wurzelkanalfüllungen mit einer Länge von 0 – 1 mm vor dem Apex endend bessere Erfolge als bei denjenigen, die bis 1 – 3 mm vor dem Apex obturiert wurden. Covello et al. (2010) und Er et al. (2006) orientierten sich an den Leitlinien der European Society of Endodontology (ESE) und wählten einen Abstand von 2 mm zum Apex als Entscheidungsgrundlage für die Suffizienz. Die Mehrzahl der Studien übernimmt diese Kategorisierung, weshalb sie auch in dieser Studie Anwendung fand (Al-Omari et al. 2011; Buckley und Spangberg 1995; Connert et al. 2019; Da Silva et al. 2009; De Moor et al. 2000; Dugas et al. 2003; Eckerbom et al. 2007; Hommez et al. 2002; Kielbassa et al. 2017; Kim 2010).

Zur Beurteilung der Qualität der Wurzelkanalfüllungen wurde zwischen „gut“, „ausreichend“, „mangelhaft“ oder „unklar“ unterschieden. Die Beurteilung erfolgte in Anlehnung an die Leitlinien der ESE vor allem an der Sichtbarkeit von Hohlräumen innerhalb der Füllung oder zwischen Füllung und Wurzelkanalwand, sodass die Kategorien „gut“ und „ausreichend“ konsolidiert als suffizient bewertet wurden. Bei inadäquater Füllung eines Wurzelkanals wurde die gesamte Wurzelkanalfüllung eines mehrkanaligen Zahnes jedoch als insuffizient gekennzeichnet. In einigen Studien wurden die Wurzelkanäle einzeln bewertet, weshalb es hier zu Unterschieden kommen kann. In der Untersuchung von Kim (2010) wurden unbehandelte oder ungefüllte Wurzelkanäle nicht bewertet, weshalb ein Zahn trotz übersehener Wurzelkanäle als suffizient gefüllt bewertet sein kann.

Um eine Verbesserung der Übereinstimmung der Untersucher*innen zu erlangen, wurden diese vor Beginn der Untersuchung in Probedurchläufen in der Voruntersuchung untereinander kalibriert. Um der grundlegenden Problematik einer subjektiven Diagnose der Röntgenbilder entgegenzuwirken, wurde jeder Datensatz durch eine/n zweite/n Untersucher*in beurteilt. Während der Hauptuntersuchung wurden alle fraglichen Fälle oder solche, die mit einer Abweichung von mehr als einer Stufe des PRIs bewertet wurden, zusammen besprochen (Halse et al. 2002; Molven et al. 2002; Reit und Hollender 1983; Saunders et al. 2000).

Dennoch kann auch im Konsens eine fehlerhafte Beurteilung stattgefunden haben. So ist eine gewisse Voreingenommenheit bei tiefkariösen Zähnen nicht auszuschließen, da von den Untersucher*innen angenommen werden kann, dass Pulpa und Apex bereits infiziert sein müssen. Ebenso die Annahme, dass einer insuffizienten Wurzelkanalfüllung eine ebenso insuffiziente Wurzelkanalbehandlung vorausgegangen sei. Wie ausführlich die Präparation und Desinfektion durchgeführt wurden, ist schwerlich daraus abzuleiten.

Ebenfalls bietet die Beurteilung eines dreidimensionalen Zahnes auf einem zweidimensionalen Röntgenbild weitere Fehlerquellen. So können Wurzelkanäle beispielsweise durch Überlagerungen verdeckt sein oder zusätzliche nicht instrumentierte Wurzelkanäle unentdeckt bleiben. Dies kann vor allem bei den Molaren geschehen, besonders dann, wenn der zweite mesiobukkale Wurzelkanal der oberen Molaren nicht aufgefunden wird. Weiterhin zeigten Bender und Seltzer, dass apikale Läsionen erst bei Erreichen der Kortikalis röntgenologisch entdeckt werden können (Bender und Seltzer 1961a, 1961b). Es ist daher wahrscheinlich, dass ein Teil der pathologischen Umbauprozesse am knöchernen Apex radiologisch nicht zu erkennen ist und die Zahl der pathologischen Veränderungen höher liegt als radiologisch feststellbar ist. Trotz verbesserter 3D-Diagnostik mit Hilfe des DVT bleibt diese Technik der Bildgebung in der Endodontologie eher eine Ausnahme für Spezialfälle und ist daher für epidemiologische Untersuchungen noch ungeeignet.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Patient*innenbezogene Befunde

4.2.1.1 Alters- und Geschlechterverteilung

In dieser Studie wurden nur adulte und mindestens restbezahnte Gebisse befundet, weshalb das Mindestalter 18 Jahre betrug. Milch- oder Wechselgebisse, Mehrfachanfertigungen von Orthopantomogrammen und zahnlose Kiefer wurden daher ausgeschlossen. Bilder, die von nicht ausreichender Qualität waren, wurden ebenfalls nicht verwendet. Die Anzahl der Bilder mit mangelhafter Qualität beschränkte sich auf lediglich drei Bilder, was für eine geringe Fehlerquote und eine hohe Anwendungssicherheit bei dem Einsatz eines Orthopantomogrammes bei geschultem Personal spricht. Der Ausschluss minderjähriger Patient*innen ist

darin begründet, dass alle Zähne zur Beurteilung ein abgeschlossenes Wurzelwachstum aufweisen sollten.

Der Anteil weiblicher Studienteilnehmerinnen lag mit 45,4% niedriger als der männlicher Teilnehmer mit 54,6%. Ähnliche Zahlen finden sich bei Hammann (2016) und Schulte et al. (1998). Eine deutlich andere Tendenz fanden Boucher et al. (2002) bei ihren Studienteilnehmer*innen mit 62% Frauen und 38% Männern, ebenso wie Georgopoulou et al. (2005) mit 65,3% Frauen und 34,7% Männern.

Das Durchschnittsalter der Patient*innen lag bei 45,0 Jahren. Dies entspricht den Angaben in der nationalen und internationalen Literatur. Boucher et al. (2002) notierten ein mittleres Alter von 45,9 Jahren, Buckley und Spangberg (1995) ermittelten 44,5 Jahre als Durchschnitt, Georgopoulou et al. (2005) lagen mit 48 Jahren minimal darüber, ebenso Petersson et al. (2016) mit einem Durchschnittsalter von 48,2 Jahren. Etwas höher war die Altersstruktur bei Huumonen et al. (2017) mit durchschnittlich 50,2 Jahren sowie bei Tsuneishi et al. (2005) mit 50,8 Jahren. Deutlich niedriger lag das Durchschnittsalter bei Jiménez-Pinzón et al. (2004) mit 37,1 Jahren oder auch bei Dugas et al. (2003) mit 35 Jahren.

Im deutschsprachigen Raum gaben Connert et al. (2019) (37,6 Jahre), Heppeler und Hülsmann (2010) (36,0 und 43,3 Jahre), Hülsmann und Snezna (1998) (26,6 bis 41,5 Jahre), Schulte et al. (1998) (35,8 bis 38,1 Jahre) und Weiger et al. (1997) (35,2 Jahre) ein niedrigeres Durchschnittsalter an. In den Untersuchungen von Hülsmann et al. (1991; 1995) lag das durchschnittliche Alter des selektierten Patient*innengutes (nur Patient*innen in Parodontalbehandlung) zwischen 40 und 49 Jahren. Viktorov (2006) gab mit 44,8 Jahren ein sehr ähnliches Durchschnittsalter wie in der vorliegenden Studie an. Bürklein et al. (2020), Hammann (2016) und Kirchhoff (2017) ermittelten hingegen höhere Durchschnittsalter: (50,2 Jahre, 52,7 Jahre, 47,2 und 53,7 Jahre). Ein zunehmendes Durchschnittsalter in jüngeren Studien ist aufgrund des demographischen Wandels zu erklären, wobei ebenfalls Ausnahmen mit niedrigerem Durchschnittsalter zu finden sind.

4.2.1.2 Zahnzahl

Der durchschnittliche Zahnbestand des Patient*innengutes lag bei 24,2 Zähnen und ähnelt den Werten anderer Studien: De Cleen et al. (1993), Eriksen et al.

(1995), De Moor et al. (2000), Lupi-Pegurier et al. (2002), Jiménez-Pinzón et al. (2004), Georgopoulou et al. (2005), Kabak und Abbott (2005), ermittelten Durchschnittswerte von 22,8 Zähnen, 22,7 Zähnen, 22,4 Zähnen, 22 Zähnen, 24,7 Zähnen, 24,0 Zähnen und 21,9 Zähnen.

Die Vergleichbarkeit ist jedoch eingeschränkt, da beispielsweise Kirchhoff (2017), Schulte et al. (1998) oder auch Hammann (2016) im Gegensatz zu den anderen Studien die dritten Molaren mitbewerteten. In einigen Studien wie zum Beispiel bei Da Silva et al. (2009) oder Kayahan et al. (2008) finden sich keine Angaben über den Ein- oder Ausschluss der Weisheitszähne. Weiterhin ist nicht immer angegeben, ob Zahnlosigkeit, wie in der vorliegenden Studie, zum Ausschluss geführt hat. Verhältnismäßig niedrige Werte gaben Odesjö et al. (1990) mit einem Durchschnitt von 18,0 Zähnen oder auch Kielbassa et al. (2017) mit einem durchschnittlichen Zahnbestand von 12,7 Zähnen bei den weiblichen Studienteilnehmerinnen und 9,9 Zähnen bei den männlichen Patienten an. Dugas et al. (2003) wiesen mit Ergebnissen von durchschnittlich 26,5 Zähnen pro Patient*in deutlich höhere Werte auf. Auch Connert et al. (2019) gaben mit 26,2 Zähnen pro Patient*in einen größeren Wert an. Dies korreliert jedoch mit dem niedrigen Durchschnittsalter innerhalb dieser Studien.

4.2.1.3 Apikale Parodontitis

In der vorliegenden Studie wiesen 23,4 % aller Patient*innen einen Zahn mit apikaler Parodontitis auf, 20,6% der Proband*innen sogar zwei oder mehrere Zähne mit apikaler Aufhellung. In der Summe sind dies 44,0% aller Patient*innen mit mindestens einer apikalen Parodontitis. Im Vergleich mit anderen Studien ist dieses Ergebnis als eher niedrig einzustufen. Huuonen et al. (2017) erfassten zwar nur 27%, Kirkevang et al. (2001) ermittelten 42,3%, Viktorov (2006) diagnostizierte 48,2%, Connert et al. (2019) gaben 58,6% mit einer apikalen Parodontitis betroffenen Patient*innen an, ebenfalls vergleichsweise niedrige Ergebnisse. Jersa und Kundzina (2013) befundeten bei 72,0% ihrer Patient*innen eine apikale Parodontitis, Kabak und Abbott (2005) schon 80,0% und Georgopoulou et al. (2005) gaben sogar 85,9% Patient*innen mit Auffälligkeiten am Apex an. Wie bereits beschrieben, ist die Vergleichbarkeit aufgrund variierender Indizes und Studienpopulationen eingeschränkt, dennoch liegen die Prozentwerte um 60% deutlich höher als in der vorliegenden Studie.

Signifikant mehr apikale Parodontitiden wurden bei männlichen Studienteilnehmern festgestellt (Männer: 62,7%, Frauen 37,3%, $p = 0,001$). Gleiche Tendenzen, dass Frauen eine bessere periradikuläre Gesundheit aufweisen, stellten auch Kielbassa et al. (2017) und Huumonen et al. (2017) fest, konnten jedoch keine Erklärung hierfür finden. Frauen wird im Allgemeinen ein höheres Gesundheitsbewusstsein nachgesagt, sie nehmen häufiger (zahn)ärztliche Hilfe in Anspruch und weisen eine bessere individuelle Mundhygiene auf als Männer (Hülsmann und Janke 2015; Robert Koch-Institut 2020). Das Gegenteil zeigt die Auswertung von Berlinck et al. (2015) aus Brasilien, hier wurden deutlich mehr apikale Parodontitiden bei Frauen als bei Männern aufgefunden (62,4% zu 37,6%, $p < 0,05$), jedoch auch deutlich mehr Frauen als Männer untersucht (64,0% weibliche und 36,0% männliche Studienteilnehmer*innen). Andere Autor*innen fanden in diesem Punkt keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen (Georgopoulou et al. 2005; Jiménez-Pinzón et al. 2004). Mögliche Ursachen für Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen weiblichen und männlichen Patient*innen bei der Entstehung von Krankheiten und dem Umgang mit ihnen gilt es weiter zu erforschen.

Eine Zunahme der Prävalenz apikaler Parodontitiden mit dem Alter wurde sowohl in dieser als auch in zahlreichen anderen Studien festgestellt (Eckerbom et al. 2007; Eriksen et al. 1995; Jiménez-Pinzón et al. 2004; Kielbassa et al. 2017). Dies ist mit zunehmender Karieserfahrung und der Zunahme der Notwendigkeit einer Wurzelkanalbehandlung bei erhöhtem Zahnhartsubstanzverlust im Alter zu vermuten. Denn auch bei der Anzahl der Wurzelkanalbehandlungen pro Person nahm die Prävalenz mit dem Alter zu. Auch in anderen Studien zeigen sich ähnliche Tendenzen höherer Prävalenzen wurzelkanalgefüllter Zähne mit steigendem Alter (Berlinck et al. 2015; Georgopoulou et al. 2005). Andere Studien erklären hingegen sinkende Werte wurzelkanalgefüllter Zähne im Alter mit der zunehmenden Zahl von Zahnverlusten aufgrund von Wurzelkaries oder Extraktionen aus parodontalen Gründen mit fortgeschrittenem Alter (Hammann 2016). Bezogen auf die gesamte Studienpopulation wurden im Durchschnitt 1,3 wurzelkanalgefüllte Zähne pro Patient*in diagnostiziert. Dieser Wert liegt im Rahmen bereits genannter Untersuchungen (Bürklein et al. 2020; Covello et al. 2010; Heppeler und Hülsmann 2010; Kirchhoff 2017).

4.2.2 Zahnbezogene Befunde

4.2.2.1 Apikale Parodontitis an nicht wurzelkanalbehandelten Zähnen

Bei immerhin 3,2% der nicht wurzelkanalbehandelten Zähne wurde ein PRI von 3 oder höher festgestellt. Kielbassa et al. (2017) gaben 1,7% aller Zähne mit apikaler Aufhellung ohne endontische Behandlung an, Jiménez-Pinzón et al. (2004) ermittelten 3,0%, De Moor et al. (2000) wiesen 3,8% aus und geben somit vergleichbare Werte an. Auch im deutschsprachigen Raum sind vergleichbare Prozentwerte vorzufinden, so registrierten Heppeler und Hülsmann (2010) für das Jahr 1994 3,4% und für 2004 4,4% aller nicht endodontisch behandelten Zähne mit $PRI > 2$. Das Ergebnis von Georgopoulou et al. (2005) mit 9,4% weicht hingegen stark nach oben ab, was mit einem hohen Behandlungsbedarf primärer endodontischer Versorgungen in dieser Studienpopulation einhergeht.

4.2.2.2 Häufigkeit von Wurzelkanalfüllungen und periapikaler Status wurzelkanalbehandelter Zähne

Der Anteil wurzelkanalgefüllter Zähne an der Gesamtzahl aller vorhandenen Zähne beträgt in dieser Studie 5,3%. In deutschen Studien werden Prävalenzen von 1,8% bis 8,2% aufgeführt (Bürklein et al. 2020; Connert et al. 2019; Hammann 2016; Heppeler und Hülsmann 2010; Hülsmann et al. 1995; Hülsmann et al. 1991; Hülsmann und Hammerstein-Loxten 2014; Hülsmann und Snezna 1998; Ketterl 1984; Kirchhoff 2017; Klimek et al. 1995; Schulte et al. 1998; Viktorov 2006; Weiger et al. 1997). Hierbei zeigt sich, dass jüngere Studien zu meist höhere Werte erreichten und dass höhere Prävalenzen mit einem höheren Durchschnittsalter korrelieren (Bürklein et al. 2020; Hammann 2016). Dies lässt auf eine zunehmende Zahl von Zahnerhaltungsmaßnahmen durch Wurzelkanalbehandlungen schließen und bestätigt zum anderen die Zunahme der Prävalenz wurzelkanalgefüllter Zähne mit dem Alter. International liegen die Häufigkeiten ähnlich hoch, wobei es Ausnahmen vor allem in den Ländern Frankreich, Schweden, Weißrussland und Japan gibt. Hier berichteten Boucher et al. (2002) und Lupi-Pegurier et al. (2002) über eine Prävalenz von 19,1% und 18,9%, Eckerbom et al. (2007) diagnostizierten 17,7% wurzelkanalbehandelte Zähne, Kabak und Abbott (2005) ermittelten eine Häufigkeit von 20% und auch Tsuneishi et al. (2005) befundeten 20,5% wurzelkanalgefüllte Zähne. Eriksen et al. (1988) begründeten die höhere Prävalenz innerhalb der schwedischen Bevölkerung mit der höheren Zahl an Endodontolog*innen und der besseren finanziellen Unterstützung des schwedischen Gesundheitssystems.

Erstaunlicherweise zeigen diese und andere neuere Studien, dass sich die Verteilung der Häufigkeiten innerhalb der Zahngruppen verändert hat. So wurden in den 80er Jahren vor allem Wurzelkanalbehandlungen an Frontzähnen diagnostiziert, während in jüngeren Studien eine Verschiebung zu den Seitenzähnen stattgefunden hat (Hülsmann et al. 1991; Kielbassa et al. 2017; Klimek et al. 1995; Schulte et al. 1998; Viktorov 2006). Dies zeigt die Bereitschaft der Patient*innen, nicht nur Zähne im ästhetischen Bereich, sondern auch funktionell bedeutende Zähne erhalten zu wollen. Gleichzeitig werden der Fortschritt und die bessere Ausbildung innerhalb des Fachgebietes Endodontie hiermit bestätigt, wenn Zahnärzt*innen die weitaus aufwändigeren und technisch anspruchsvolleren Präparationen der Molaren vornehmen. Vor allem der Einsatz von Nickel-Titan-Instrumenten kann diesen Fortschritt vorangetrieben haben (Hülsmann 2021).

Eine Diskrepanz zwischen der Anzahl der Obturationen im Ober- und Unterkiefer ist damals wie heute auffällig (Hülsmann et al. 1991; Kielbassa et al. 2017; Klimek et al. 1995; Schulte et al. 1998; Viktorov 2006). Es kann vermutet werden, dass die Selbstreinigung im Unterkiefer durch Zunge, Wange und Speichelfluss erheblich zur Kariesresistenz beiträgt und die Zähne somit weniger häufig einer Wurzelkanalbehandlung zugeführt werden müssen. Auch Unfälle betreffen häufiger die Oberkieferfrontzähne, weshalb diese deutlich häufiger infolgedessen eine endodontische Behandlung benötigen (Bastone et al. 2000; Lam 2016).

Mehr als die Hälfte der wurzelkanalbehandelten Zähne (52,6%) dieser Studie wiesen eine pathologische Veränderung am Apex auf ($PRI > 2$). Die Ergebnisse innerhalb der Literatur schwanken hier erheblich, jedoch 34 von 70 ausgewerteten Studien der internationalen Literatur mit Angabe von apikalen Parodontitiden wurzelkanalgefüllter Zähne enthalten Werte zwischen 40% und 60% (vgl. Tabelle 1, Seite 24). Erklärungsansätze für solch starke Variationen zwischen den Autor*innen könnten im Studiendesign, der Qualität der endodontischen Versorgung oder der vorangegangenen Ursache für die Wurzelkanalbehandlung zu finden sein. So ist die Prognose eines Zahnes mit irreversibler Pulpitis oder Pulpanekrose ohne Parodontitis apicalis deutlich besser als von Zähnen mit präoperativer periradikulärer Aufhellung (DGZMK und DGZ 2000). Bedauerlicherweise ist anhand einer einzeitigen Untersuchung der zeitliche Zusammenhang zwischen Entstehung der apikalen Parodontitis und der Obturation nicht abzulesen. Eine Übersicht der Prävalenzen wurzelkanalbehandelten Zähne mit apikaler Parodontitis innerhalb der deutschen

Studien gibt Tabelle 17. Hier zeigt sich prinzipiell eine abnehmende Tendenz der Prävalenz, die jedoch durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden kann.

Tabelle 17: Apikale Parodontitiden an wurzelkanalgefüllten Zähnen in Studien aus Deutschland

Autor	Jahr	Land	WF+AP %
Hülsmann et al.	1991	Deutschland	60,1
Klimek et al.	1995	Deutschland	56,9
Hülsmann et al.	1995	Deutschland	59,1
Weiger et al.	1997	Deutschland	61,0
Schulte et al.	1998	Deutschland	14,4
Hülsmann & Snezna	1998	Deutschland	19,7 – 56,5
Viktorov et al.	2006	Deutschland	47,7
Heppeler & Hülsmann	2010	Deutschland	34,6 (1994)
			38,7 (2004)
Hülsmann & Hammerstein-Loxten	2014	Deutschland	52,8
Hammann	2016	Deutschland	39,0
Kirchhoff	2017	Deutschland	26,8
Connert et al.	2019	Deutschland	34,1
Bürklein et al.	2020	Deutschland	42,5
vorliegende Studie	2022	Deutschland	52,6

WF+AP%: Anteil wurzelkanalbehandelter Zähne mit apikaler Parodontitis in Prozent

Allerdings sollte bei der Diskussion der dargestellten Ergebnisse beachtet werden, dass verschiedene Studiendesigns verwendet wurden und die Aussagekraft von Querschnittsstudien begrenzt ist bzw. diese mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Veränderungen im endodontischen Staus von Populationen lassen sich nur in Longitudinalstudien oder durch die Wiederholung von Querschnittsstudien ermitteln, die allerdings nur in sehr geringer Anzahl vorliegen. Kirkevang et al. (2006) untersuchten 1987 den periapikalen und endodontischen Status von 616 zufällig ausgewählten Dän*innen und konnten 2003 erneut 77% dieser Personen

untersuchen. Die Prävalenz apikaler Parodontitiden wurzelkanalgefüllter Zähne verringerte sich von 49,0% auf 44,3%. Gleichzeitig waren 30% der apikalen Läsionen wurzelkanalgefüllter Zähne 16 Jahre später ausgeheilt, bei 60% blieben die Läsionen bestehen und 10 % der erkrankten Zähne wurden bis 2003 extrahiert. Eckerbom et al. (2007) untersuchten in einem Zeitintervall von 20 Jahren 200 bzw. 115 in Nordschweden lebende Patient*innen. Die Häufigkeit endodontisch behandelter Zähne stieg signifikant ($p < 0,05$) von 13,9% bei der ersten Untersuchung auf 17,7% nach 20 Jahren. Auch ein statistisch signifikanter Anstieg ($p < 0,05$) von Zähnen mit apikaler Parodontitis von 3,3% auf 6,8% war festzustellen, obwohl sich die Qualität der Wurzelkanalfüllungen verbessert hatte. Frisk et al. (2008) ermittelten während ihrer 20-jährigen Beobachtungszeit Prävalenzen apikaler Läsionen von wurzelkanalbehandelten Zähnen von 24,5%, 23,8%, 21,1%, 24,6% und somit zunächst eine Verbesserung, die sich dann jedoch nicht manifestierte. Peters et al. (2011) sahen bei dem Vergleich von Röntgenbildern aus dem Jahr 2006 mit denen einer ähnlichen Stichprobe aus 1988 keine signifikante Veränderung der Prävalenz periapikaler Läsionen innerhalb dieser Zeit. Razdan et al. (2022) untersuchten 1997 bis 1998 sowie 2007 bis 2009 zwei ähnliche Kohorten und zeigten einen rückläufigen Trend in der Prävalenz von wurzelgefüllten Zähnen in Dänemark auf. Eine gleichzeitige Besserung der apikalen Gesundheit dieser Zähne trat jedoch nicht ein. Somit sind auch in diesen Longitudinalstudien keine wesentlichen Verbesserungen der apikalen Verhältnisse festzustellen.

Die Ergebnisse der wurzelspitzenresezierten Zähne sind mit einer Erfolgsquote von lediglich 16,3% (Summe aus PRI 1 und 2) ernüchternd. Aufgrund der niedrigen Fallzahl ($n = 43$) ist eine gesicherte Bewertung nicht möglich. Ein aussagekräftiger Vergleich mit bekannter Literatur ist ebenfalls nicht möglich, da in den bereits genannten Studien die resezierten Zähne entweder lediglich gezählt und nicht bewertet wurden oder sie wie nicht resezierte wurzelkanalbehandelte Zähne bewertet und somit nicht gesondert dargestellt wurden. Eine Studie von Raedel et al. (2015) berichtete hingegen über eine Überlebensquote von 81,6% der untersuchten wurzelspitzenresezierten Zähne. Grundlage dieser retrospektiven Studie waren Schadensdaten einer großen deutschen Krankenkasse, die die Rückverfolgung klinischer Verläufe innerhalb von drei Jahren erlaubten. Der maßgebliche Unterschied ist jedoch darin zu sehen, dass in der hier vorliegenden Studie Misserfolg in einer apikalen Parodontitis definiert ist, während die Studie von Raedel et al. (2015) erst die Extraktion als Versagensgrund definiert, eine Befundung von Röntgenbildern fand hier nicht statt.

4.2.2.3 Homogenität und Länge der Wurzelkanalfüllungen

Für die wurzelkanalgefüllten, nicht wurzelspitzenresezierten Zähne wurde eine Beurteilung der Länge und Homogenität durchgeführt. Pulpotomierte Zähne wurden in dieser Kategorie nicht bewertet. Bei 39,5% aller Zähne war die Füllung deutlich zu kurz (mehr als 2 mm vom Apex entfernt), überextendiert waren 3,2% aller Obturationen. Als ideal gefüllt, also 0 – 1 mm vor den Apex endend, wurden 30,2% bewertet und ausreichend, bis zu 2 mm vor dem Apex endend, wurden 27,1% gefüllt. In dieser Studie wurden alle Obturationen bis 2 mm vor den Apex als adäquat angesehen und ergeben daher konsolidiert 57,3% suffiziente Wurzelkanalfüllungen. Eine direkte Vergleichbarkeit mit anderen Studien ist nicht vollständig gegeben, da die Kriterien unterschiedlich streng festgesetzt wurden. Bei Hammann (2016) wurden 41,1% als technisch gut gefüllte Wurzelkanalfüllungen bezüglich der Länge bewertet. Dies umfasst jedoch nur die Wurzelkanalbehandlungen, die in einem Abstand von maximal 1 mm zum Apex abgeschlossen wurden. 54,3% der Wurzelkanalfüllungen waren zu kurz (> 1 mm zum Apex) gefüllt, 3,0% wurden als überextendiert befundet. Özbaş et al. (2011) definierten die Wurzelkanalfüllung erst ab einem Abstand von 3 mm zum Apex als zu kurz. Von insgesamt 179 endodontisch behandelten Zähnen waren 69,1% nicht adäquat gefüllt, 8,8% überextendiert und nur 22,1% als ausreichend gefüllt beurteilt worden. Bei gleicher Definition wie in der vorliegenden Studie erhielten Heppeler und Hülsmann (2010) zunächst 43,6% suffizient gefüllte Wurzelkanäle für das Jahr 1994 und 45,2% für das Jahr 2004. Überfüllt waren hier 3,6% (1994) und 4,2% (2004). Hülsmann und Hammerstein-Loxten (2014) erfassten in 50,1% der Fälle eine zu kurze Wurzelkanalfüllung und 3,6% wurden radiologisch als überfüllt beurteilt. Ähnliche Werte, jedoch mit einer gewissen Schwankungsbreite, wurden auch in internationalen Studien ermittelt: Bołtacz-Rzepkowska und Pawlicka (2003) beurteilten 48,9%, De Moor et al. (2000) erhalten 40,7%, Dugas et al. (2003) ermittelten 58,0%, Kabak und Abbott (2005) befundeten 47,7% und Tsuneishi et al. (2005) notierten sogar 55,9% aller gefüllten Wurzelkanäle als adäquat versorgt.

Die Füllungsqualität wurde anhand von Homogenität und Wandständigkeit der Wurzelkanalfüllung eingeordnet. Die Kategorisierung erfolgte in „gut“, „ausreichend“ oder „mangelhaft“, eine „unklare“ Beurteilung wurde bei kleinflächigen Artefakten, punktuellen Unschärfen oder röntgenologischen Überlagerungen vergeben. Inwieweit in anderen Studien zusätzlich auf andere Qualitätsaspekte wie beispielsweise Präparationsgrad und Konizität eingegangen wurde, ist anhand der häufig gewählten Klassifizierung von „gut“ und „schlecht“ nicht zu sagen.

Dugas et al. (2003) beurteilten 60,1% als gut und 40,0% als schlecht gefüllt. Lupi-Pegurier et al. (2002) befundeten 58,9% von 1.429 Wurzelkanalfüllungen als gut, Marques et al. (1998) bewertete 46,0% und Viktorov (2006) sogar 70,0% als adäquat gefüllt. Connert et al. (2019) ermittelten im Vergleich im Vergleich mit der Studie von Weiger et al. (1997) eine Verbesserung in der Qualität der Wurzelkanalfüllungen. Hier stieg der Anteil suffizient gefüllter Wurzelkanäle von 14,4% auf 34,7% an. Die Autoren vermuten einen Zusammenhang mit der vermehrten Verwendung von maschinellen Präparationstechniken im Vergleich zur vorher gängigen manuellen Präparation. In der vorliegenden Studie wurden 28,1% als gut und 29,1% als ausreichend beurteilt. In der Summe ergibt dies einen Wert von 57,2% aller Wurzelkanalfüllungen, die als suffizient gefüllt angesehen werden. Der Wert ist somit im Mittelfeld der genannten Studien zu finden. Heppeler und Hülsmann (2010) unterschieden in „gut“, „schlecht“, „unklar“ und „kleine Fehler“ bei der Beurteilung der Obturationen und erhielten ähnliche Werte. Im Jahr 1994 waren 18,8% als gut, 48,5% als schlecht, 7,3% als unklar und 25,5% mit kleinen Fehlern befundet worden. Zehn Jahre später erhielten sie bessere Werte: 23,5% gut, 40,6% schlecht, 5,1% unklar und 30,9% mit kleinen Fehlern. Dies spiegelt die prinzipielle Entwicklung wider, dass jüngere Studien qualitativ bessere Obturationen bezüglich Länge und Homogenität ergaben. Zu berücksichtigen ist, dass die Qualitätsbewertung von Wurzelkanalfüllungen mit Hilfe von Orthopantomogrammen aufgrund eingeschränkter Detailwiedergabe nur eine grobe Annäherung ermöglicht. Die entsprechenden Daten sind daher mit großer Vorsicht zu interpretieren.

4.2.2.4 Sonstiges

Andere Untersuchungsergebnisse wie Pulpotomien, Wurzelreste, Perforationen, Instrumentenfrakturen, Silberstifte oder Traumata konnten aufgrund der niedrigen Fallzahlen oder aufgrund dessen, dass in anderen Studien diese Parameter nicht erfasst wurden, nicht in Zusammenhang gebracht werden. Ebenfalls konnte die Zahl der Zähne, die mit weit fortgeschrittener Karies dokumentiert wurden, nur mit Studien aus Göttingen verglichen werden. Auf die gesamte Studienpopulation bezogen, wurden 1,3 Zähne pro Patient*in erfasst. Dies ist eine deutliche Steigerung im Vergleich zu den Jahren 1994 und 2004, in denen 0,7 und 0,4 tiefkariöse Zähne pro Patient*in vermerkt wurden (Heppeler und Hülsmann 2010). Ein Zuwachs der Karies widerspricht der generellen Entwicklung der Reduktion der Karieslast, die im Rahmen der fünften Mundgesundheitsstudie festgestellt wurde (Jordan et al. 2014). Allerdings wird hier mithilfe des DMFT-Index die prinzipielle Karieserfahrung gemessen und mit der entsprechenden

Altersgruppe ins Verhältnis gesetzt. DMFT steht hierbei für die Anzahl der kariösen (decayed), fehlenden (missing) und gefüllten (filled) Zähne (teeth). Der Index erfasst demnach sowohl akut kariöse Zähne als auch die mögliche Folgetherapie hieraus (Zahnfüllungen, Zahnersatz, Zahnverluste). In der vorliegenden Studie ist eine Polarisierung aufgrund der sozialen Herkunft denkbar, bei der eine kleinere Gruppe einen erhöhten DMFT-Wert aufweist. Ein direkter Vergleich ist jedoch nicht möglich, da in der vorliegenden Studie lediglich weit fortgeschrittene Karies, die vermutlich eine endodontische Therapie erfordert, erfasst wurden.

4.2.2.5 Behandlungsbedarf

In jüngeren Studien wird der Behandlungsbedarf kaum noch separat ermittelt und dargestellt, sodass ein Vergleich nur schwer möglich ist. Weiterhin schlüsseln nur wenige Studien den Behandlungsbedarf für wurzelkanalbehandelte und nicht wurzelkanalbehandelte Zähne auf. Bei den meisten Studien kann daher nur von den Zahlen der Zähne mit eindeutiger apikaler Parodontitis (PRI/PAI 5) geschlossen werden, wie hoch der (minimale) Behandlungsbedarf ist. Heppeler und Hülsmann (2010) ermittelten mit einem ähnlichen Studiendesign für wurzelkanalbehandelte Zähne 1994 einen minimalen Behandlungsbedarf von 26,1% und 2004 von 31,8%, der maximale Behandlungsbedarf lag bei 49,7% und 54,4%. In der vorliegenden Studie ergab sich ein Wert von 35,0% für den minimalen und 45,2% für den maximalen Behandlungsbedarf. Weiger et al. (1997) identifizierten 61% aller wurzelkanalbehandelten Zähne mit einer apikalen Parodontitis und schätzten diese als revisionsbedürftig ein. In der Anschlussstudie von Connert et al. (2019) waren es noch 34,1%. De Cleen et al. (1993) stellten bei 39,2% aller wurzelkanalbehandelten Zähne Behandlungsbedarf aufgrund periapikaler Destruktion fest.

Für nicht wurzelkanalbehandelte Zähne erhielten Heppeler und Hülsmann (2010) für das Jahr 1994 einen minimalen Behandlungsbedarf von 1,2%, für 2004 von 2,4%. Der maximale Behandlungsbedarf, bei Heppeler und Hülsmann (2010) ebenfalls summiert aus Zähnen mit einem PRI von 5 und 4 sowie Zähnen mit Caries profunda, lag 1994 bei 3,7% und 2004 bei 4,6% der noch vorhandenen Zähne. Diese Werte sind vergleichbar mit den in dieser Studie vorliegenden Ergebnissen, einem minimalen Behandlungsbedarf von 1,8% und maximalen Behandlungsbedarf von 5,1%. De Cleen et al. (1993) wiesen einen endodontischen Behandlungsbedarf von 5,2% aller nicht wurzelkanalbehandelten Zähne wegen einer periapikalen Aufhellung aus. Connert et al. (2019) schätzten den minimalen

endodontischen Behandlungsbedarf, einschließlich von Zähnen mit klinischen Symptomen, auf 1,6 %, Weiger et al. (1997) in der Vorläuferstudie des Jahres 1993 auf 2,3 %. Bei der Addition symptomloser Zähne mit apikaler Aufhellung und solcher mit schlechter Wurzelkanalfüllung kommen die Autoren auf 2,9% bzw. zwanzig Jahre zuvor auf 3,7% (Connert et al. 2019; Weiger et al. 1997).

Der Behandlungsbedarf dieser Studie wurde jedoch nur auf Basis röntgenologischer Befunde erhoben. Der tatsächliche Behandlungsbedarf berücksichtigt noch weitere klinische Parameter wie Sensibilität, Perkussionsempfindlichkeit oder Beschwerden und kann oft erst intraoperativ festgestellt werden. Auch ist es möglich, dass eine endodontische Intervention erst dann notwendig ist, wenn eine prothetische Versorgung sie zwingend erfordert, wie beispielsweise bei nicht ausreichender Menge an Zahnhartsubstanz oder der Notwendigkeit einer gemeinsamen Einschubrichtung. Deshalb ist anzunehmen, dass der tatsächliche endodontische Behandlungsbedarf höher ist als bereits festgestellt.

4.2.2.6 Diskussion unter Berücksichtigung berufspolitischer Hintergründe

Ein Land wie Deutschland sollte bei dem Anspruch, eines der besten Gesundheitssysteme der Welt zu haben, durchaus bessere Ergebnisse erzielen. Ursachen sind im Nichterkennen des endodontischen Behandlungsbedarfs, in der nicht ausreichenden Fort- und Weiterbildung der Zahnärzt*inne(n), sowie in der schlechten Honorierung endodontischer Leistungen der gesetzlichen Krankenkassen zu suchen. Zahnärzt*innen sollten, wie von der ESE vorgeschlagen, ein Recallsystem für endodontisch behandelte Patient*innen etablieren, bei dem in regelmäßigen Abständen der Erfolg der Wurzelkanalbehandlung evaluiert wird. Hierbei sollte neben der klinischen Diagnostik auf ein sinnvolles Röntgenintervall nicht verzichtet werden und die Patient*innen ausführlich über die Notwendigkeit eventuell erforderlicher Revisionsbehandlungen aufgeklärt werden.

Eine Verbesserung der nicht zufrieden stellenden Daten könnte weiterhin durch Einführung einer postgraduellen Spezialisierung seitens der Universitäten oder eine Verbesserung der bereits angebotenen Curricula erzielt werden. Der Zugang zu diesen Fortbildungen sollte durch Berufsverbände erleichtert und gefördert werden, um eine bedarfsgerechte Versorgung der Patient*innen zu gewährleisten. Auch die Patient*innen sollten entsprechend über die Indikation, Vorteile, Risiken, den Ablauf und den entsprechenden Zeitaufwand einer Wurzelkanalbehandlung aufgeklärt werden. Die Akzeptanz eines/r Patient*in für einen eventuell

erhöhten zeitlichen und finanziellen Aufwand wird in aller Regel steigen, wenn die Sinnhaftigkeit verstanden ist. Die leistungsgerechte Entlohnung von längst nicht mehr neuartigen, sondern durch zahlreiche Studien belegten Techniken wie endometrische Längenbestimmung, maschinelle Präparationstechniken, Vergrößerungshilfen und thermoplastische Fülltechniken durch die gesetzlichen Krankenkassen ist dagegen überfällig.

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, durch die Evaluation von Röntgenaufnahmen eines selektierten Patient*innengutes Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung sowie des endodontischen Behandlungsbedarfs zu ermitteln. Darüber hinaus sollten Vergleiche mit den Ergebnissen älterer Studien mit gleichem Untersuchungsdesign (Hülsmann et al. 1991; Hülsmann und Snezna 1998; HEPPEL und Hülsmann 2010) und Schlussfolgerungen über Veränderungen des endodontischen Status ermöglicht werden. Zusätzlich sollten die Daten mit denen ähnlicher epidemiologischer Studien aus anderen Ländern verglichen werden. Es handelt sich um eine retrospektive Auswertungsstudie von 500 Orthopantomogrammen aus der Röntgenabteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen. Die Röntgenaufnahmen wurden von zwei kalibrierten Untersucher*innen mit unterschiedlicher Berufserfahrung unabhängig voneinander mit Hilfe eines Auswertungsbogens untersucht. Die Untersuchung erfolgte unter Verwendung des Periapical Probability Index (PRI) nach Reit und Gröndahl (1983).

Die Studienpopulation bestand aus 54,6% Männern und 45,5% Frauen und war im Durchschnitt 45 Jahre (+/- 17,7 Jahre) alt und besaß 24,2 Zähne pro Patient*in. Insgesamt wurden 12.088 Zähne erfasst und beurteilt, wovon bei 637 (5,3%) eine Wurzelkanalbehandlung festgestellt wurde. Bei 698 (5,8%) aller Zähne wurde eine apikale Parodontitis (PRI größer 2) diagnostiziert. Hiervon wurden 363 Zähne (3,0%) ohne und 335 Zähne (2,8%) mit Wurzelkanalfüllung befundet. Dies bedeutet, dass 52,6% aller wurzelkanalbehandelten Zähne eine apikale Parodontitis zeigten. Der Anteil ausreichend langer Wurzelkanalfüllungen lag bei 57,3%, eine adäquate Homogenität wurde in 57,2% diagnostiziert. Dies zeigt eine Verbesserung der technischen Qualität der endodontischen Versorgung im Vergleich zu vorangegangenen Studien aus Göttingen. Dennoch stieg die Zahl der periapikalen Läsionen bei wurzelkanalbehandelten Zähnen an, weshalb insgesamt nicht von einer Verbesserung innerhalb der endodontischen Versorgung gesprochen werden kann. Der Behandlungsbedarf ist mit 35,0% für den minimalen und 45,2% für den maximalen Behandlungsbedarf wurzelkanalbehandelter Zähne sowie mit 1,8% minimalem und 5,1% maximalem Behandlungsbedarf für nicht wurzelkanalbehandelte Zähne im Vergleich mit früheren Studien relativ stabil. Die Gesamtprävalenz der apikalen Parodontitiden betrug 5,8% der untersuchten 12.088 Zähne, während sie für Zähne mit Wurzelkanalfüllung 52,6% betrug. Dies ist mit den Ergebnissen nationaler und internationaler

Literatur vergleichbar. Eine deutliche Verbesserung des endodontischen Versorgungsgrades in den vergangenen 25 Jahren ist nicht zu erkennen.

6 Summary

The aim of the present thesis was to determine the frequency and quality of endodontic care and the need for endodontic treatment by evaluation of radiographs of a selected group of patients. Another aim was to compare the results with those of previously conducted studies with the same study design (Hülsmann et al. 1991; Hülsmann and Snezna 1998; Heppeler and Hülsmann 2010), with respect to changes in the endodontic status over the years. Furthermore, the generated data was compared to those of similar epidemiological studies from other countries. This retrospective study included the evaluation of 500 panoramic radiographs from the Department of Oral Radiology of the Center for Dental, Oral and Maxillofacial Medicine at the University Medical Center Göttingen. The selected radiographs were examined independently by two calibrated examiners with differing professional experience using an evaluation sheet. The Periapical Probability Index (PRI) (Reit and Gröndahl 1983) was used for all of the investigations.

The study population displayed a mean age of 45 years (+/- 17.7 years) and 24.2 teeth per patient. 54.6% of the radiographs were from male and 45.5% from female patients. Panoramic radiographs with a total of 12,088 teeth were recorded and assessed, of which 637 (5.3%) were found to have had a root canal treatment. Apical periodontitis (PRI > 2) was diagnosed in 698 (5.8%) teeth. Of these, 363 teeth (3.0%) were found without and 335 teeth (2.8%) with a root canal filling, indicating that that 52.6% of all root canal-treated teeth showed apical periodontitis. The percentage of root canal fillings of adequate length was 57.3%. A satisfactory homogeneity was found in 57.2%. When compared to previous studies conducted in Göttingen, these results imply that there has been an improvement in technical quality of endodontic treatments. However, the comparisons also show an increase in prevalence of apical lesions in root canal-treated teeth, demonstrating no overall improvement in endodontic care. The treatment need of minimum 35.0% and maximum 45.2% of root canal-treated teeth and minimum 1.8% and maximum 5.1% for teeth not root canal-treated is not different from that from previous studies. Analysis of the international literature has shown fundamental similarities between the presented study results and those of other epidemiological studies from other developed countries. As Germany claims to have one of the best health systems in the world, more satisfactory results may certainly be expected. The main causes seem to be failure in recognizing the need for endodontic treatment, the inadequate postgraduate training of dentists, as well as the poor financial rewards through health insurance companies. The overall prevalence of apical periodontitis was 5.8%, while for teeth with root canal

fillings it was 52.6%. This is comparable to the results of national and international literature. No significant improvement over the last twenty-five years can be observed.

7 Anhang

Bewertungsbogen Hauptuntersuchung																												
Patientennummer:												Versicherungsstatus																
Geburtsdatum:												PV:	KV:	SZ:														
Geschlecht:	m:	w:																										
Aufnahmedatum:																												
Untersucher:																												
Zahn	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	37	36	35	34	33	32	31	41	42	43	44	45	46	47
Zahn fehlt																												
nicht instrumentiert																												
PRI (1-5)																												
Wurzelkanalfüllung																												
PRI (1-5)																												
Längenbewertung																												
> 2 mm zu kurz																												
< 2 mm zu kurz																												
0 - 1 mm																												
überfüllt																												
Qualität Kondensation																												
gut																												
ausreichend																												
mangelhaft																												
unklar																												
WSR																												
Caries progr. profunda																												
Amputation																												
Sonstiges*																												
parodontale Ursache																												
endodont. Behandlungsbedarf																												
ja																												
nein																												
unklar																												

Abbildung A 1: Bewertungsbogen Hauptuntersuchung

8 Literaturverzeichnis

- Ahlqwist M, Halling A, Hollender L (1986): Rotational panoramic radiography in epidemiological studies of dental health. Comparison between panoramic radiographs and intraoral full mouth surveys. *Swed Dent J* 10, 73–84
- Aleksejuniene J, Eriksen HM, Sidaravicius B, Haapasalo M (2000): Apical periodontitis and related factors in an adult Lithuanian population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 90, 95–101
- Alfouzan K, Baskaradoss JK, Geevarghese A, Alzahrani M, Alhezaimi K (2016): Radiographic diagnosis of periapical status and quality of root canal fillings in a Saudi Arabian subpopulation. *Oral Health Prev Dent* 14, 241–248
- Al-Omari MA, Hazaa A, Haddad F (2011): Frequency and distribution of root filled teeth and apical periodontitis in a Jordanian subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 111, e59-65
- Barthel CR, Zimmer S, Trope M (2004): Relationship of radiologic and histologic signs of inflammation in human root-filled teeth. *J Endod* 30, 75–79
- Bastone EB, Freer TJ, McNamara JR (2000): Epidemiology of dental trauma: a review of the literature. *Aust Dent J* 45, 2–9
- Bender IB, Seltzer S (1961a): Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. *J Am Dent Assoc* 62, 152–160
- Bender IB, Seltzer S (1961b): Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: II. *J Am Dent Assoc* 62, 708–716
- Bender IB, Seltzer S, Soltanoff W (1966a): Endodontic success—A reappraisal of criteria. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 22, 780–789
- Bender IB, Seltzer S, Soltanoff W (1966b): Endodontic success—A reappraisal of criteria. II. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 22, 790–802
- Bergström J, Eliasson S, Ahlberg KF (1987): Periapical status in subjects with regular dental care habits. *Community Dent Oral Epidemiol* 15, 236–239
- Berlinck T, Tinoco JMM, Carvalho FLF, Sassone LM, Tinoco EMB (2015): Epidemiological evaluation of apical periodontitis prevalence in an urban Brazilian population. *Braz Oral Res* 29, 51
- Bjørndal L, Reit C (2004): The annual frequency of root fillings, tooth extractions and pulp-related procedures in Danish adults during 1977-2003. *Int Endod J* 37, 782–788

- Bołtacz-Rzepkowska E, Pawlicka H (2003): Radiographic features and outcome of root canal treatment carried out in the Łódź region of Poland. *Int Endod J* 36, 27–32
- Boucher Y, Matossian L, Rilliard F, Machtou P (2002): Radiographic evaluation of the prevalence and technical quality of root canal treatment in a French sub-population. *Int Endod J* 35, 229–238
- Boykin MJ, Gilbert GH, Tilashalski KR, Shelton BJ (2003): Incidence of endodontic treatment: a 48-month prospective study. *J Endod* 29, 806–809
- Brynolf I (1967): A histological and roentgenological study of the periapical region of human upper incisors. *Odontol Revy* 18
- Buckley M, Spangberg LS (1995): The prevalence and technical quality of endodontic treatment in an American subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 79, 92–100
- Bürklein S, Schäfer E, Jöhren H-P, Donnermeyer D (2020): Quality of root canal fillings and prevalence of apical radiolucencies in a German population: a CBCT analysis. *Clin Oral Investig* 24, 1217–1227
- Cavalcante ASR, Valera MC, Anbinder AL, Tavano O (2003): Radiographic evaluation of the prevalence and conditions of endodontic treatment in 300 patients. *Bull Kanagawa Dent Coll* 1, 3–7
- Connert T, Truckenmüller M, ElAyouti A, Eggmann F, Krastl G, Löst C, Weiger R (2019): Changes in periapical status, quality of root fillings and estimated endodontic treatment need in a similar urban German population 20 years later. *Clin Oral Investig* 23, 1373–1382
- Correia-Sousa J, Madureira AR, Carvalho MF, Teles AM, Pina-Vaz I (2015): Apical periodontitis and related risk factors: Cross-sectional study. *Rev Port Estomatol Cir Mailofac* 56, 226–232
- Covello F, Franco V, Schiavetti R, Clementini M, Mannocci A, Ottria L, Costacurta M (2010): Prevalence of apical periodontitis and quality of endodontic treatment in an Italian adult population. *Oral Implantol (Rome)* 3, 9–14
- Da Silva K, Lam JMY, Wu N, Duckmanton P (2009): Cross-sectional study of endodontic treatment in an Australian population. *Aust Endod J* 35, 140–146
- De Cleen MJ, Schuurs AH, Wesselink PR, Wu MK (1993): Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population. *Int Endod J* 26, 112–119

- De Moor RJ, Hommez GM, Boever JG de, Delmé KI, Martens GE (2000): Periapical health related to the quality of root canal treatment in a Belgian population. *Int Endod J* 33, 113–120
- Delano EO, Ludlow JB, Ørstavik D, Tyndall D, Trope M (2001): Comparison between PAI and quantitative digital radiographic assessment of apical healing after endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 92, 108–115
- DGZMK und DGZ (2000): Wissenschaftliche Stellungnahme "Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen". *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 206–207
- DGZMK und DGZ (2005): "Good clinical practice": Die Wurzelkanalbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 60, 418–423
- Dugas NN, Lawrence HP, Teplitsky PE, Pharoah MJ, Friedman S (2003): Periapical health and treatment quality assessment of root-filled teeth in two Canadian populations. *Int Endod J* 36, 181–192
- Eckerbom M, Andersson JE, Magnusson T (1986): Interobserver variation in radiographic examination of endodontic variables. *Endod Dent Traumatol* 2, 243–246
- Eckerbom M, Flygare L, Magnusson T (2007): A 20-year follow-up study of endodontic variables and apical status in a Swedish population. *Int Endod J* 40, 940–948
- Er O, Sagsen B, Maden M, Cinar S, Kahraman Y (2006): Radiographic technical quality of root fillings performed by dental students in Turkey. *Int Endod J* 39, 867–872
- Eriksen HM, Berset GP, Hansen BF, Bjertness E (1995): Changes in endodontic status 1973-1993 among 35-year-olds in Oslo, Norway. *Int Endod J* 28, 129–132
- Eriksen HM, Bjertness E, Ørstavik D (1988): Prevalence and quality of endodontic treatment in an urban adult population in Norway. *Endod Dent Traumatol* 4, 122–126
- Estrela C, Leles CR, Hollanda ACB, Moura MS, Pécora JD (2008): Prevalence and risk factors of apical periodontitis in endodontically treated teeth in a selected population of Brazilian adults. *Braz Dent J* 19, 34–39
- Freitag V, Weber O (1984): Vergleichende Bewertung periapikaler Befunde auf Zahnfilmen und Orthopantomogrammen. *Dtsch Zahnärztl Z* 39, 173–177

- Frisk F, Hakeberg M (2005): A 24-year follow-up of root filled teeth and periapical health amongst middle aged and elderly women in Göteborg, Sweden. *Int Endod J* 38, 246–254
- Frisk F, Hugoson A, Hakeberg M (2008): Technical quality of root fillings and periapical status in root filled teeth in Jönköping, Sweden. *Int Endod J* 41, 958–968
- Georgopoulou MK, Spanaki-Voreadi AP, Pantazis N, Kontakiotis EG (2005): Frequency and distribution of root filled teeth and apical periodontitis in a Greek population. *Int Endod J* 38, 105–111
- Goldman M, Pearson AH, Darzenta N (1972): Endodontic success - Who's reading the radiograph? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 33, 432–437
- Goldman M, Pearson AH, Darzenta N (1974): Reliability of radiographic interpretations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 38, 287–293
- Grasser H, Barth HH (1987): Die Diagnostik von Interdentalkaries und apikaler Ostitis im Vergleich zwischen Orthopantomogramm und Zahnfilm. *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 818–821
- Gröndahl HG, Jönsson E, Lindahl B (1970): Diagnosis of periapical osteolytic processes with orthopantomography and intraoral full mouth radiography--a comparison. *Sven Tandlak Tidskr* 63, 679–686
- Gulsahi K, Gulsahi A, Ungor M, Genc Y (2008): Frequency of root-filled teeth and prevalence of apical periodontitis in an adult Turkish population. *Int Endod J* 41, 78–85
- Halse A, Molven O, Fristad I (2002): Diagnosing periapical lesions-disagreement and borderline cases. *Int Endod J* 35, 703–709
- Hammann T: Epidemiologische Untersuchung von Wurzelkanalbehandlungen und apikalen Parodontitiden im Jahre 2010. *Med. Diss. München* 2016
- Heppeler J, Hülsmann M (2010): Prevalence of root canal fillings, apical periodontitis, and endodontic treatment needs in a selected German population in 1994 and 2004. *ENDO (Lond Engl)* 4, 189–200
- Hommeze GMG, Coppens CRM, Moor RJG de (2002): Periapical health related to the quality of coronal restorations and root fillings. *Int Endod J* 35, 680–689
- Hülsmann M (2021): Technische Innovationen in der Endodontie: Was funktioniert in der Praxis? *teamwork* 24, 190-199

- Hülsmann M, Franz B, Lorch V (1995): Endodontische Versorgung und endodontischer Behandlungsbedarf im parodontal geschädigten Gebiß. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 454–458
- Hülsmann M, Hammerstein-Loxten FH von (2014): Estimated endodontic treatment need and perceived endodontic treatment performed after 1 year. *ENDO (Lond Engl)*, 145–152
- Hülsmann M, Janke T (2015): Endodontie und Gender: Besonderheiten der endodontischen Behandlung von Frauen. *Endodontie* 24, 263–277
- Hülsmann M, Lorch V, Franz B (1991): Untersuchung zur Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 46, 296–299
- Hülsmann M, Snezna S (1998): Veränderung in bezug auf Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung 1976-1993. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 392–397
- Huumonen S, Orstavik D (2002): Radiological aspects of apical periodontitis. *Endodontic Topics* 1, 3–25
- Huumonen S, Suominen AL, Vehkalahti MM (2017): Prevalence of apical periodontitis in root filled teeth: findings from a nationwide survey in Finland. *Int Endod J* 50, 229–236
- Huumonen S, Vehkalahti MM, Nordblad A (2012): Radiographic assessments on prevalence and technical quality of endodontically-treated teeth in the Finnish population, aged 30 years and older. *Acta Odontol Scand* 70, 234–240
- Jersa I, Kundzina R (2013): Periapical status and quality of root fillings in a selected adult Riga population. *Stomatologija* 15, 73–77
- Jiménez-Pinzón A, Segura-Egea JJ, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E, Ríos-Santos JV (2004): Prevalence of apical periodontitis and frequency of root-filled teeth in an adult Spanish population. *Int Endod J* 37, 167–173
- Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, Schiffner U, Stark H, Zimmer S, Micheelis W (2014): The fifth German oral health study (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC Oral Health* 14, 161
- Kabak Y, Abbott PV (2005): Prevalence of apical periodontitis and the quality of endodontic treatment in an adult Belarusian population. *Int Endod J* 38, 238–245
- Kalender A, Orhan K, Aksoy U, Basmaci F, Er F, Alankus A (2013): Influence of the quality of endodontic treatment and coronal restorations on the prevalence

- of apical periodontitis in a Turkish Cypriot population. *Med Princ Pract* 22, 173–177
- Kamberi B, Hoxha V, Stavileci M, Dragusha E, Kuçi A, Kqiku L (2011): Prevalence of apical periodontitis and endodontic treatment in a Kosovar adult population. *BMC Oral Health* 11, 32
- Kayahan MB, Malkondu O, Canpolat C, Kaptan F, Bayirli G, Kazazoglu E (2008): 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* 105, e58-62
- Ketterl W: *Endodontie: Kompendium für Studium und Praxis*; Hüthig, Heidelberg 1984
- Kielbassa AM, Frank W, Madaus T (2017): Radiologic assessment of quality of root canal fillings and periapical status in an Austrian subpopulation - An observational study. *PLoS ONE* 12, e0176724
- Kim S (2010): Prevalence of apical periodontitis of root canal-treated teeth and retrospective evaluation of symptom-related prognostic factors in an urban South Korean population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 110, 795–799
- Kirchhoff J-HG: *Epidemiologische Querschnittsuntersuchung zur Qualität von Wurzelkanalbehandlungen der Jahre 2003 und 2011*. Med. Diss. München 2017
- Kirkevang LL, Hörsted-Bindslev P, Ørstavik D, Wenzel A (2001): Frequency and distribution of endodontically treated teeth and apical periodontitis in an urban Danish population. *Int Endod J* 34, 198–205
- Kirkevang LL, Vaeth M, Hörsted-Bindslev P, Wenzel A (2006): Longitudinal study of periapical and endodontic status in a Danish population. *Int Endod J* 39, 100–107
- Klimek J, Kockapan C, Borchert J (1995): Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalfüllungen in den Jahren 1983 und 1991. *Dtsch Zahnärztl Z*, 154–156
- Kullendorff B, Nilsson M (1996): Diagnostic accuracy of direct digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 82, 585–589
- Kullendorff B, Petersson K, Rohlin M (1997): Direct digital radiography for the detection of periapical bone lesions: a clinical study. *Endod Dent Traumatol* 13, 183–189

- KZBV (2019): Jahrbuch 2019: Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung einschließlich GOZ-Analyse. <https://kzbv.de/jahrbuch-2016.768.de.html>, abgerufen am: 20.01.2022
- Lam R (2016): Epidemiology and outcomes of traumatic dental injuries: a review of the literature. *Aust Dent J* 61 Suppl 1, 4–20
- Landis JR, Koch GG (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159–174
- Lin LM, Pascon EA, Skribner J, Gängler P, Langeland K (1991): Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 71, 603–611
- Lin P-Y, Huang S-H, Chang H-J, Chi L-Y (2014): The effect of rubber dam usage on the survival rate of teeth receiving initial root canal treatment: a nationwide population-based study. *J Endod* 40, 1733–1737
- Loftus JJ, Keating AP, McCartan BE (2005): Periapical status and quality of endodontic treatment in an adult Irish population. *Int Endod J* 38, 81–86
- Lupi-Pegurier L, Bertrand M-F, Muller-Bolla M, Rocca JP, Bolla M (2002): Periapical status, prevalence and quality of endodontic treatment in an adult French population. *Int Endod J* 35, 690–697
- Marques MD, Moreira B, Eriksen HM (1998): Prevalence of apical periodontitis and results of endodontic treatment in an adult, Portuguese population. *Int Endod J* 31, 161–165
- McCaul LK, McHugh S, Saunders WP (2001): The influence of specialty training and experience on decision making in endodontic diagnosis and treatment planning. *Int Endod J* 34, 594–606
- Meirinhos J, Martins JNR, Pereira B, Baruwa A, Gouveia J, Quaresma SA, Monroe A, Ginjeira A (2020): Prevalence of apical periodontitis and its association with previous root canal treatment, root canal filling length and type of coronal restoration - a cross-sectional study. *Int Endod J* 53, 573–584
- Molander B, Ahlqwist M, Gröndahl HG (1995): Panoramic and restrictive intraoral radiography in comprehensive oral radiographic diagnosis. *Eur J Oral Sci* 103, 191–198
- Molven O (1976): The frequency, technical standard and results of endodontic therapy. *Nor Tannlaegeforen Tid* 86, 142–147

- Molven O, Halse A, Fristad I (2002): Long-term reliability and observer comparisons in the radiographic diagnosis of periapical disease. *Int Endod J* 35, 142–147
- Moreno JO, Alves FRF, Gonçalves LS, Martinez AM, Rôças IN, Siqueira JF (2013): Periradicular status and quality of root canal fillings and coronal restorations in an urban Colombian population. *J Endod* 39, 600–604
- Mukhaimer R, Hussein E, Orafi I (2012): Prevalence of apical periodontitis and quality of root canal treatment in an adult Palestinian sub-population. *Saudi Dent J* 24, 149–155
- Nascimento EHL, Gaêta-Araujo H, Andrade MFS, Freitas DQ (2018): Prevalence of technical errors and periapical lesions in a sample of endodontically treated teeth: a CBCT analysis. *Clin Oral Investig* 22, 2495–2503
- Odesjö B, Helldén L, Salonen L, Langeland K (1990): Prevalence of previous endodontic treatment, technical standard and occurrence of periapical lesions in a randomly selected adult, general population. *Endod Dent Traumatol* 6, 265–272
- Oginni AO, Adeleke AA, Chandler NP (2015): Root canal treatment and prevalence of apical periodontitis in a nigerian adult subpopulation: a radiographic study. *Oral Health Prev Dent* 13, 85–90
- Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM (1986): The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol* 2, 20–34
- Özbaş H, Aşçı S, Aydın Y (2011): Examination of the prevalence of periapical lesions and technical quality of endodontic treatment in a Turkish subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 112, 136–142
- Pasler FA: Taschenatlas der Zahnärztlichen Radiologie, 1. Auflage; Thieme, Stuttgart 2003
- Patel N, Rushton VE, Macfarlane TV, Horner K (2000): The influence of viewing conditions on radiological diagnosis of periapical inflammation. *Br Dent J* 189, 40–42
- Peters LB, Lindeboom JA, Elst ME, Wesselink PR (2011): Prevalence of apical periodontitis relative to endodontic treatment in an adult Dutch population: a repeated cross-sectional study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 111, 523–528

- Petersson AR, Petersson K, Krasny R, Gratt BM (1984): Observer variations in the interpretation of periapical osseous structures: A comparison between xero-radiography and conventional radiography. *J Endod* 10, 205–209
- Petersson K, Fransson H, Wolf E, Håkansson J (2016): Twenty-year follow-up of root filled teeth in a Swedish population receiving high-cost dental care. *Int Endod J* 49, 636–645
- Petersson K, Petersson A, Olsson B, Hakansson J, Wennberg A (1986): Technical quality of root fillings in an adult Swedish population. *Endod Dent Traumatol* 2, 99–102
- Raedel M, Hartmann A, Bohm S, Walter MH (2015): Three-year outcomes of apicectomy (apicoectomy): Mining an insurance database. *J Dent* 43, 1218–1222
- Razdan A, Jungnickel L, Schropp L, Vaeth M, Kirkevang L-L (2022): Trends of endodontic and periapical status in adult Danish populations from 1997 to 2009: A repeated cross-sectional study. *Int Endod J* 55, 164–176
- Reit C, Gröndahl HG (1983): Application of statistical decision theory to radiographic diagnosis of endodontically treated teeth. *Scand J Dent Res* 91, 213–218
- Reit C, Hollender L (1983): Radiographic evaluation of endodontic therapy and the influence of observer variation. *Scand J Dent Res* 91, 205–212
- Robert Koch-Institut: Gesundheitliche Lage der Frauen in Deutschland. Gesundheitsberichterstattung des Bundes; Robert Koch-Institut, Berlin 2020
- Saunders MB, Gulabivala K, Holt R, Kahan RS (2000): Reliability of radiographic observations recorded on a proforma measured using inter- and intra-observer variation: a preliminary study. *Int Endod J* 33, 272–278
- Saunders WP, Saunders EM, Sadiq J, Cruickshank E (1997): Technical standard of root canal treatment in an adult Scottish sub-population. *Br Dent J* 182, 382–386
- Schaeffer MA, White RR, Walton RE (2005): Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature. *J Endod* 31, 271–274
- Schulte A, Pieper K, Charalabidou O, Stoll R, Stachniss V (1998): Prevalence and quality of root canal fillings in a German adult population. A survey of orthopantomograms taken in 1983 and 1992. *Clin Oral Investig* 2, 67–72
- Schwartz SF, Foster JK (1971): Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions. Part I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 606–612

- Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E, Ríos-Santos JV (2004): Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in an adult Spanish population. *Int Endod J* 37, 525–530
- Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Ríos-Santos JV, Velasco-Ortega E, Cisneros-Cabello R, Poyato-Ferrera M (2005): High prevalence of apical periodontitis amongst type 2 diabetic patients. *Int Endod J* 38, 564–569
- Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Ríos-Santos JV, Velasco-Ortega E, Cisneros-Cabello R, Poyato-Ferrera MM (2008): High prevalence of apical periodontitis amongst smokers in a sample of Spanish adults. *Int Endod J* 41, 310–316
- Seltzer S (1999): Long-term radiographic and histological observations of endodontically treated teeth. *J Endod* 25, 818–822
- Seltzer S, Bender IB, Smith J, Freedman I, Nazimov H (1967a): Endodontic failures—An analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 23, 500–516
- Seltzer S, Bender IB, Smith J, Freedman I, Nazimov H (1967b): Endodontic failures—An analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings. II. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 23, 517–530
- Sidaravicius B, Aleksejuniene J, Eriksen HM (1999): Endodontic treatment and prevalence of apical periodontitis in an adult population of Vilnius, Lithuania. *Endod Dent Traumatol* 15, 210–215
- Siqueira JF, Rôças IN, Alves FRF, Campos LC (2005): Periradicular status related to the quality of coronal restorations and root canal fillings in a Brazilian population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 100, 369–374
- Sisli SN, Yılmaz B, Özpolat Z, Gülşahı K (2021): Comparative analysis of different periapical index systems used in cone-beam computed tomography. *Aust Endod J* 47, 401–407
- Skudutyte-Rysstad R, Eriksen HM (2006): Endodontic status amongst 35-year-old Oslo citizens and changes over a 30-year period. *Int Endod J* 39, 637–642
- Song M, Park M, Lee C-Y, Kim E (2014): Periapical status related to the quality of coronal restorations and root fillings in a Korean population. *J Endod* 40, 182–186
- Stassen IGK, Hommez GMG, Bruyn H de, Moor RJG de (2006): The relation between apical periodontitis and root-filled teeth in patients with periodontal treatment need. *Int Endod J* 39, 299–308

- Strindberg LZ (1956): The dependence of the results of pulp therapy on certain factors. An analytical study based on radiographic and clinical follow-up examinations. *Acta Odontol Scand* 14, 1–175
- Sunay H, Tanalp J, Dikbas I, Bayirli G (2007): Cross-sectional evaluation of the periapical status and quality of root canal treatment in a selected population of urban Turkish adults. *Int Endod J* 40, 139–145
- Tarcin B, Gumru B, Iriboz E, Turkeydin DE, Ovecoglu HS (2015): Radiologic assessment of periapical health: Comparison of 3 different index systems. *J Endod* 41, 1834–1838
- Tavares PBL, Bonte E, Boukpepsi T, Siqueira JF, Lasfargues J-J (2009): Prevalence of apical periodontitis in root canal-treated teeth from an urban French population: influence of the quality of root canal fillings and coronal restorations. *J Endod* 35, 810–813
- Tekyatan H, Briseño B, Kasaj A, Mansouri G, Willershausen B (2006): Umfrage zu maschinellen Wurzelkanalpräparationssystemen in deutschen Zahnarztpraxen. *ZWR* 115, 260–264
- Tewary S, Luzzo J, Hartwell G (2011): Endodontic radiography: who is reading the digital radiograph? *J Endod* 37, 919–921
- Touré B, Kane AW, Sarr M, Ngom CTH, Boucher Y (2008): Prevalence and technical quality of root fillings in Dakar, Senegal. *Int Endod J* 41, 41–49
- Tsuneishi M, Yamamoto T, Yamanaka R, Tamaki N, Sakamoto T, Tsuji K, Watanabe T (2005): Radiographic evaluation of periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Japanese population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 100, 631–635
- Viktorov Y: Prävalenz von apikalen Parodontitiden sowie die Häufigkeit und Qualität endodontischer Behandlungen in einer Berliner Population. Med. Diss. Düsseldorf 2006
- Weiger R, Hitzler S, Hermle G, Löst C (1997): Periapical status, quality of root canal fillings and estimated endodontic treatment needs in an urban German population. *Endod Dent Traumatol* 13, 69–74
- Zakariasen KL, Scott DA, Jensen JR (1984): Endodontic recall radiographs: How reliable is our interpretation of endodontic success or failure and what factors affect our reliability? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 57, 343–347

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann für die Möglichkeit der Promotion und die Überlassung des Dissertationsthemas, die hervorragende Betreuung, die konsequente Unterstützung und Motivation in allen Phasen der Promotion.

Herrn Prof. Dr. med. dent. Sven Rinke gilt mein Dank für die stets konstruktiven Hilfestellungen.