

Aus der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Analyse der Erfolgsrate endodontischer Behandlung an ersten Prämolaren des Ober-
und Unterkiefers anhand röntgenologischer Auswertung durchgeführt in der Klinik für
Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten in Mainz

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Carolin Isabel Ringler
aus Kandel

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

Tag der Promotion: 14. Mai 2024

Widmung

Besigheim, im Februar 2024

Carolin Isabel Ringler

Diese Dissertation möchte ich meinen liebsten Menschen widmen, die immer ihr Bestes gegeben haben, mich in allen denkbaren Formen zu unterstützen, egal welchen Weg ich bisher eingeschlagen habe.

Allen voran möchte ich meinem Ehemann danken, dessen Liebe mich durch die letzten Jahre getragen hat.

Weiterhin meiner Schwester, die mir fachlich wie menschlich zu jeder Tages- und Nachtzeit zur Seite gestanden hat.

Zuletzt möchte ich diese Arbeit meiner geliebten Gloey widmen, die mich den größten Teil meines Lebens begleitet: Für sie zähle ich jeden Tag nur als Mensch und im Team als ihre Partnerin, ungeachtet meiner beruflichen Qualifikation.

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	I
II	Abkürzungsverzeichnis	IV
III	Verzeichnisse	V
1	Einleitung.....	1
2	Literaturdiskussion.....	7
2.1	Endodontie allgemein	7
2.1.1	Posttherapeutische Parodontitis apicalis	11
2.2	Erste Prämolare des Ober- und Unterkiefers.....	14
2.2.1	Allgemeine Anatomie erster Prämolare	14
2.2.2	Endodontische Besonderheiten erster Prämolaren.....	21
2.3	Methoden der Bewertung des Behandlungsergebnisses	22
2.3.1	Klinische Evaluation	22
2.3.2	Histopathologische Evaluation	22
2.3.3	Röntgenologische Evaluation	23
2.4	Radiologische Diagnostik in der Endodontie	26
2.5	Bisherige Erfolgs- & Misserfolgsdefinitionen endodontischer Behandlungen in der Literatur	30
2.6	Einflussfaktoren des Erfolgs oder Misserfolgs einer Wurzelkanalbehandlung..	33
2.6.1	Präoperative prognostische Einflussfaktoren	33
2.6.2	Intraoperative prognostische Einflussfaktoren	38
2.6.3	Postoperative prognostische Einflussfaktoren.....	44
3	Material und Methodik	61
3.1	Patientenkollektiv & Beobachtungszeitraum	61
3.2	Auswertungsgrundlage & Einschlusskriterien.....	62
3.3	Ausschlusskriterien	64
3.4	Was nicht untersucht wurde.....	65
3.5	Auswertung der Röntgenbilder	66
3.6	Angewandte Erfolgsdefinition	69
3.7	Statistisches Vorgehen	71
4	Ergebnisse.....	73
4.1	Deskriptive Statistik.....	74
4.1.1	Verteilung nach Geschlecht der Patienten	74
4.1.2	Verteilung nach Alter der Patienten	74
4.1.3	Verteilung in Ober- und Unterkiefer	75

4.1.4	Verteilung nach Quadranten	76
4.1.5	Präendodontischer Zustand: Beherdungsgrad, Vitalität und Perkussionsempfindlichkeit...	76
4.1.6	Auswertung der Zeitspanne zwischen Trepanationszeitpunkt und Wurzelfüllung	79
4.1.7	Auswertung der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und definitiver Restauration	80
4.1.8	Verteilung der definitiven postendodontischen Versorgung nach Restaurationsarten	81
4.1.9	Röntgenologisch ermittelter, postendodontischer Beherdungsgrad	83
4.1.10	Häufigkeitsverteilung der Extraktion im Beobachtungszeitraum	84
4.1.11	Häufigkeitsverteilung der Ursachen der Nichterhaltungswürdigkeit.....	84
4.1.12	Häufigkeitsverteilung der Restaurationsart zur Lückenversorgung nach stattgefundener Extraktion	85
4.2	Erfolgsdefinitionen und Survival Analysen.....	86
4.2.1	Angewandte Erfolgsdefinitionen kurzgefasst	86
4.2.2	Alle beobachteten Fälle nach funktioneller Erfolgsdefinition	87
4.2.3	Alle beobachteten Fälle nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	88
4.2.4	Geschlecht als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition	90
4.2.5	Geschlecht als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	92
4.2.6	Alter als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition	93
4.2.7	Alter als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition	95
4.2.8	Lokalisation des Zahns als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition.....	96
4.2.9	Lokalisation des Zahns als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition	99
4.2.10	Präendodontischer Vitalitätsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition.....	102
4.2.11	Präendodontischer Vitalitätsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	103
4.2.12	Präendodontischer Beherdungsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition.....	105
4.2.13	Präendodontischer Beherdungsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	106
4.2.14	Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung als Einflussfaktor nach funktioneller Erfolgsdefinition	107
4.2.15	Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	108
4.2.16	Postendodontische koronale Restaurationsart als Einflussfaktor des Erfolgs nach funktioneller Erfolgsdefinition	108
4.2.17	Postendodontische koronale Restaurationsart als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	110
4.2.18	Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung bis Restaurationsinsertion als Einflussfaktor nach funktioneller Erfolgsdefinition	111

4.2.19	Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung bis Restorationsinsertion als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	112
4.2.20	Stiftversorgung als Einflussfaktor nach funktioneller Erfolgsdefinition	112
4.2.21	Stiftversorgung als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....	114
4.2.22	Postendodontische Beherdungsart als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition.....	115
5	Diskussion	118
5.1	Datenmaterial	118
5.2	Kritische Diskussion der angewandten Methoden.....	120
5.3	Diskussion der gewählten kleinsten Untersuchungseinheit	122
5.4	Größe der untersuchten Population	122
5.5	Diskussion der Ergebnisse und Vergleich mit bereits vorliegender Literatur .	123
5.6	Diskussion des Einflusses der Behandlererfahrung und des Patientenlientels	126
5.7	Diskussion der in dieser Arbeit ermittelten Erfolgsraten	129
5.8	Diskussion des Einflussfaktors Patientenalter	130
5.9	Diskussion des Einflussfaktors Lokalisation des Zahns nach Kiefer und Quadranten	132
5.10	Diskussion des Einflussfaktors präendodontischer Vitalitätsgrad	133
5.11	Diskussion des Einflussfaktors Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung.....	134
5.12	Diskussion des Einflussfaktors der Art und des Zeitpunkts der postendodontischen Versorgung.....	136
5.13	Diskussion der Extraktionsursachen	140
5.14	Schlussfolgerungen & Ausblick der eigenen Arbeit	142
6	Zusammenfassung	145
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	148
8	Anhang.....	163
9	Danksagung	164
10	Tabellarischer Lebenslauf.....	165

II Abkürzungsverzeichnis

OK	Oberkiefer
UK	Unterkiefer
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
OPG/OPTG	Orthopantomogramm
PSA	Panoramaschichtaufnahme
DVT	Digitales Volumentomogramm
WKB	Wurzelkanalbehandlung
WF	Wurzelfüllung
NaOCl	Natriumhypochlorit
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
CHX	Chlorhexidin
HEDP	Etidronsäure/Etidronat
LEO	Läsion endodontischen Ursprungs
LPO	Läsion parodontalen Ursprungs
VRF	vertical root fracture
bzw.	beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
bspw.	beispielsweise
etc.	et cetera/und so weiter
et al.	et alii/ und andere
<i>HR</i>	Hazard Ratio
<i>p</i>	Signifikanzniveau

III Verzeichnisse

III.i Tabellen

<i>Tabelle 1: Wurzelkanalkonfigurationen und ihre Klassifikation, Modifikation nach Vertucci (1984) [73]</i>	17
<i>Tabelle 2: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach funktioneller Erfolgsdefinition.....</i>	91
<i>Tabelle 3: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervalls des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	91
<i>Tabelle 4: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	92
<i>Tabelle 5: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	92
<i>Tabelle 6: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Patientenalter“ gruppiert nach Altersklassen nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	93
<i>Tabelle 7: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Patientenalter“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	94
<i>Tabelle 8: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Patientenalter“ gruppiert nach Altersklassen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	95
<i>Tabelle 9: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Patientenalter“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	96
<i>Tabelle 10: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	96
<i>Tabelle 11: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer“ nach funktioneller Erfolgsdefinition.....</i>	96
<i>Tabelle 12: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	97
<i>Tabelle 13: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervalls des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach funktioneller Erfolgsdefinition.....</i>	98
<i>Tabelle 14: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation im Oberkiefer oder Unterkiefer“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	99
<i>Tabelle 15: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Lokalisation im Oberkiefer oder Unterkiefer“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	100
<i>Tabelle 16: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	101
<i>Tabelle 17: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	101
<i>Tabelle 18: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	102
<i>Tabelle 19: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ ohne Revisionen nach funktioneller Erfolgsdefinition.....</i>	103
<i>Tabelle 20: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	104
<i>Tabelle 21: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ ohne Revisionen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	104

<i>Tabelle 22: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>105</i>
<i>Tabelle 23: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>105</i>
<i>Tabelle 24: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabelle 25: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	<i>107</i>
<i>Tabelle 26: Anzahl der Erfolge und Misserfolge gruppiert nach postendodontischer koronaler Restaurationsart nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>108</i>
<i>Tabelle 27: Mittlere Überlebenszeit, 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio gruppiert nach postendodontischer koronaler Restaurationsart nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>109</i>
<i>Tabelle 28: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „postendodontische koronale Restaurationsart“ gruppiert nach postendodontischer koronaler Restaurationsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	<i>110</i>
<i>Tabelle 29: Mittlere Überlebenszeit, 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio des Einflussfaktors „postendodontische koronaler Restaurationsart“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabelle 30: Signifikanzniveaus der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Insertion der postendodontischen koronalen Restauration in Abhängigkeit der Restaurationsart nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>112</i>
<i>Tabelle 31: Signifikanzniveaus der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Insertion der postendodontischen koronalen Restauration in Abhängigkeit der Restaurationsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabelle 32: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach funktioneller Erfolgsdefinition.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabelle 33: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>113</i>
<i>Tabelle 34: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition</i>	<i>114</i>
<i>Tabelle 35: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabelle 36: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „postendodontische Beherdungsart“ nach funktioneller Erfolgsdefinition</i>	<i>116</i>
<i>Tabelle 37: Mittlere Überlebenszeit, 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio des Einflussfaktors „postendodontische Beherdungsart“ nach funktioneller Erfolgsdefinition.....</i>	<i>117</i>

III.ii Abbildungen

Abbildung 1: Mögliche Infektionswege bakterieller Besiedlung des Endodonts und Kommunikation der Pulpa und des Parodonts.....	9
Abbildung 2: Beispiel einer Läsion endodontischen Ursprungs (LEO) an Zahn 24 nach einer bereits vorliegenden Wurzelkanalfüllung	11
Abbildung 3: Apikale Beherdung an Zahn 14 festgestellt im Rahmen der Röntgenverlaufskontrolle einige Zeit nach WF - Entscheidung zur Revision	11
Abbildung 4: Schema zur Anatomie erster Prämolare	15
Abbildung 5: Schematische Darstellung eines oberen ersten Prämolaren der rechten Patientenseite im Quer- und Längsschnitt.....	17
Abbildung 6: Schematische Darstellung eines unteren ersten Prämolaren der rechten Patientenseite im Quer- und Längsschnitt.....	19
Abbildung 7: Beispiel einer Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, Einzelzahnfilm, Diagnoseaufnahme mit Guttapercha zur Darstellung des Fistelgangs	36
Abbildung 8: Beispiel einer Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, Einzelzahnfilm, Messaufnahme, 9 Tage nach zuvor angefertigter Messaufnahme	36
Abbildung 9: Beispiel einer Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, Einzelzahnfilm, Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung, ca. ein Monat nach Trepanation.....	36
Abbildung 10: Beispiel des Zustands nach Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, OPG, Röntgenverlaufskontrolle vier Jahre nach Wurzelfüllung.....	36
Abbildung 11: Auszug der untersuchten Variablen dieser Arbeit aus SPSS	72
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Geschlechter der in die Untersuchung eingegangenen Patienten (n = 398) in Prozent	74
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der in die Untersuchung eingegangenen Patienten (n = 398) in Prozent gruppiert nach Altersklassen	75
Abbildung 14: Histogramm des Patientenalters mit Standardabweichung	75
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der beobachteten Fälle nach Lokalisation im OK und UK (n = 398).....	76
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der beobachteten Fälle in Prozent nach Quadranten (n = 398)	76
Abbildung 17: Präendodontischer Beherdungsgrad aller beobachteten Fälle in Prozent (n = 398).....	77
Abbildung 18: Präendodontischer Beherdungsgrad in Prozent gruppiert nach Quadranten.....	77
Abbildung 19: Präendodontische Perkussionsempfindlichkeit der beobachteten Fälle nach Quadranten	78
Abbildung 20: Präendodontischer Vitalitätszustand der beobachteten Fälle in Prozent (n = 305)	78
Abbildung 21: Präendodontischer Vitalitätszustand in Prozent gruppiert nach Zahnposition.....	79
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung des Beobachtungszeitraums zwischen Trepanationszeitpunkt und Wurzelkanalfüllung in Prozent (n = 398).....	79
Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Einsetzen der definitiven Restauration gruppiert nach Zeitpunkten (n = 390).....	80
Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Einsetzen der definitiven Restauration (ohne Komposit Füllungen) (n = 212)	81
Abbildung 25: Verteilung der definitiven koronalen Restaurationen nach Versorgung in Prozent (n = 398).....	82
Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung postendodontischer Stiftversorgung in Prozent.....	83
Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung der Art der Beherdung nach Wurzelfüllung festgestellt mittels einer Röntgenverlaufskontrolle.....	83
Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der Extraktionen im Beobachtungszeitraum in Prozent (n = 398)	84

Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung der Ursachen der Nichterhaltungswürdigkeit in Prozent ($n = 103$).....	85
Abbildung 30: Häufigkeitsverteilung der Lückenversorgung nach stattgefundener Extraktion ($n = 100$).....	86
Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der Erfolge und Misserfolge aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach funktioneller Erfolgsdefinition; ($n = 103$) Misserfolgseignisse.....	87
Abbildung 32: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach funktioneller Erfolgsdefinition; ($n = 103$) Misserfolgseignisse. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums. ..	88
Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung der Erfolge und Misserfolge aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach röntgenologischer Erfolgsdefinition; ($n = 159$) Misserfolgseignisse.....	89
Abbildung 34: Häufigkeitsverteilung der Ursachen des Misserfolgs aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition; ($n = 159$) Misserfolgseignisse	89
Abbildung 35: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition; ($n = 159$) Misserfolgseignisse.....	90
Abbildung 36: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Geschlecht nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.	91
Abbildung 37: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Geschlecht nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.	92
Abbildung 38: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Altersklassen nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.	94
Abbildung 39: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Altersklassen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.	95
Abbildung 40: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums	97
Abbildung 41: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Quadranten nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende ihres individuellen Beobachtungszeitraums	98
Abbildung 42: Überlebensfunktion der beobachteten ersten Prämolare gruppiert nach Lokalisation im zweiten ($n = 106$) und vierten ($n = 85$) Quadranten nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende ihres individuellen Beobachtungszeitraums.....	99
Abbildung 43: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.	100
Abbildung 44: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) gruppiert nach Lokalisation im zweiten und vierten Quadranten nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums	102
Abbildung 45: Überlebensfunktion der ersten Prämolare mit dokumentiertem Vitalitätsgrad ($n = 262$) zum Zeitpunkt der Trepanation gruppiert nach positiver und negativer Vitalität nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.	103
Abbildung 46: Überlebensfunktion der ersten Prämolare mit dokumentiertem Vitalitätsgrad ($n = 262$) zum Zeitpunkt der Trepanation gruppiert nach positiver und negativer Vitalität nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.	104

<i>Abbildung 47: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 398) gruppiert nach präendodontischem Beherdungsgrad nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>106</i>
<i>Abbildung 48: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 398) gruppiert nach präendodontischem Beherdungsgrad nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>107</i>
<i>Abbildung 49: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 398) gruppiert nach postendodontischer koronaler Restauraionsart nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>109</i>
<i>Abbildung 50: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 398) gruppiert nach postendodontischer koronaler Restauraionsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>110</i>
<i>Abbildung 51: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 398) in Abhängigkeit einer Stiftversorgung nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>113</i>
<i>Abbildung 52: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 398) in Abhängigkeit einer Stiftversorgung nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>115</i>
<i>Abbildung 53: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare (n = 302) in Abhängigkeit der Art der postendodontischen Beherdung nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.....</i>	<i>116</i>

1 Einleitung

Die Endodontie als eigenständige zahnärztliche Disziplin zur Behandlung pulpaler und periapikaler Infektionen und deren Ausheilung, ist als elementarer Bestandteil der heutigen, modernen zahnärztlichen Behandlungspraxis nicht mehr wegzudenken.

Obwohl die absolute Zahl der jährlich über die GKV abgerechneten Wurzelkanalfüllungen in Deutschland innerhalb der letzten zehn Jahre von 7,271 Millionen Wurzelfüllungen stetig auf 6,225 Millionen pro Jahr gefallen ist [1] und die Tendenz damit sinkend erscheint, ist das allgemeine Verfahren der Wurzelkanalbehandlung immer noch ein Behandlungsverfahren, welches in deutschen Zahnarztpraxen sehr häufig Anwendung findet.

Denn wie die Ergebnisse der „Fünften deutschen Mundgesundheitsstudie“ belegen, zählt Karies trotz des Rückgangs der allgemeinen Karieslast in allen deutschen Bevölkerungsschichten immer noch zu einer der häufigsten chronischen Erkrankungen in Deutschland [2]. Noch 2010 galt Karies in bleibenden Zähnen mit 2,4 Milliarden Betroffenen sogar weltweit als die am weitesten verbreitete Erkrankung [3]. Ebenso ist das Vorkommen der Parodontitis in der gesamten Weltbevölkerung sehr hoch; 10% der Weltbevölkerung sind nach einer Studie aus 2017 sogar von einer schweren Parodontitis betroffen [4]. Beide der zuvor genannten Mundkrankheiten sind mögliche Ursachen, wie Bakterien in das Endodont eindringen und eine behandlungsbedürftige irreversible Pulpitis, eine Pulpanekrose oder in der Folge auch eine Parodontitis apicalis hervorrufen können. Sind diese Umstände erreicht und gilt der Zahn als allgemein erhaltungswürdig, ist eine Wurzelkanalbehandlung indiziert. Die Nachfrage nach endodontischer Behandlung bleibt also weiterhin erhalten.

Während die Endodontie in ihren Anfängen eher einen letzten Versuch des Zahnerhalts für sonst extraktionswürdige Zähne bedeutete, steht „moderne Endodontie“ eher dafür auch die komplexeren Fälle mit Hilfe des Ausschöpfens des gesamten bisher erlangten Wissens und den technischen Weiterentwicklungen zur Heilung zu bringen, um sie bis ins hohe Patientenalter zu erhalten. Die Extraktion stellt oft für beide Seiten – den Patienten und den Behandler - nur noch den letzten Ausweg dar, wenn alle anderen Behandlungsmethoden bereits ausgeschöpft sind, oder aus anderen Gründen nicht weiter in Frage kommen.

Obwohl in einer Studie aus 2004 auf der Basis der Ergebnisse von einigen in den Jahren zuvor angestellter Studien geschlussfolgert wird, dass die Erfolgsaussichten einer nicht-chirurgischen endodontischen Behandlung zu diesem Zeitpunkt je nach präoperativem

Beherdungszustand zwischen 74% und 98% Heilungschance einzuordnen waren [5], versuchte die Endodontie die Prognosen auf ein noch höheres Niveau zu heben.

Möglicherweise infolge des gesteigerten gesellschaftlichen Drucks höherer ästhetischer Ansprüche und einer gesellschaftlich sinkenden Toleranz gegenüber frühem Zahnverlust, sind auch die Erwartungen an die Ergebnisse einer endodontischen Behandlung nicht nur von Seiten der Behandler, sondern auch von Seiten der Patienten gestiegen. Auf diese Nachfrage hin musste sich die Endodontie in den letzten beiden Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickeln, um den Anforderungen und den Wünschen der Patienten weiterhin gerecht zu werden.

Das heutige Ziel der Endodontie ist qualitativ noch hochwertigere Wurzelkanalbehandlungen: Maximieren der Reduktion der Bakterienzahl, Management der Infektion des Kanalsystems, möglichst vollständiges Aufbereiten und größtmögliches Erreichen aller schwer zugänglichen Bereiche, ein homogen abgefülltes Kanalsystem, mindestens Stillstand einer apikalen Läsion, sowie eine suffiziente postendodontische koronale Restauration. Das Zusammenspiel dieser Faktoren sollte im Idealfall für den Patienten vom Behandler bereits vor Beginn der Behandlung zu einer Erfolgseinschätzung zusammengetragen und dem Patienten als Prognose vorab dargelegt werden. [6]

Diese Anforderungen an die moderne Endodontie und ein noch tieferes Verständnis der Materie sollen das Anheben einer bereits guten Behandlungsprognose hin zu einer noch höheren Erfolgswahrscheinlichkeit wahr machen.

Während sich vor einigen Jahrzehnten eher die grundsätzlich prägenden Erkenntnisse der Endodontie etablierten, steht heute die Optimierung oder sogar Perfektionierung dieser Technologien und Erkenntnisse im Fokus: Feierte man vor Jahren das Ablösen manueller Mehrfeilensysteme durch maschinelle Aufbereitungsmethoden, untersucht man heute wie die in der Zwischenzeit etablierten Nickel-Titan-Systeme der sogenannten „Single-File-Systeme“ beispielsweise durch den Einsatz physikalischer Verfahren in ihrer Flexibilität und ihrer Verschleißfestigkeit bei gleichbleibend guter Schnitffähigkeit auch für den Einsatz in anatomisch komplexen Wurzelkanalsystemen weiter verbessert werden können [7]. Man beschäftigt sich damit mit welchem Muster der Arbeitsbewegung der maschinell betriebenen Feilen – zum Beispiel vollrotierend oder reziprok - die besseren Ergebnisse der Kanalausformung erzielt werden [8]. Auch die chemische Desinfektion steht im Fokus der Optimierung: Das Erreichen noch höherer Effizienz der Desinfektion durch gezielte Kombination mehrerer Spüllösungen und deren ideale

Applikationsmethode sind in aktuelleren Untersuchungen das Ziel [9]. Untersuchungen beschäftigten sich damit die Desinfektionswirkung durch das Anwenden höherer Konzentrationen oder Erwärmen der Spüllösungen weiter zu verbessern und die Vor- und Nachteile in der Anwendung für Patienten und Behandler darzustellen [10]. Zusätzliches Anwenden ergänzender Therapieverfahren wie beispielsweise das Einsetzen von Ozon [11] oder der Einsatz von Ultraschallaktivierung im Wurzelkanal in Verbindung mit spezifischen Spüllösungen bestimmter Konzentrationen [12, 13] zur Verbesserung oder Ergänzung der chemomechanischen Präparation wurden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht. Nach der Identifikation bestimmter Problemkeime in erneut behandelten endodontischen Wurzelkanälen in den vergangenen Jahren [14], erfolgen nun Studien zu deren wirksamer Elimination im Rahmen von Revisionsbehandlungen [15].

Wurzelkanalsealer werden heute untereinander nicht mehr nur auf deren Verschlussdichtigkeit und sogar Biokompatibilität hin verglichen [16], sondern auch daran gemessen wie gut sie wieder entfernt werden können [17, 18], da die heutige Erwartungshaltung zu sein scheint, dass eine primäre endodontische Behandlung trotz des Einsatzes von Materialien höchster Qualität und Dichtigkeit dennoch jederzeit revidierbar sein sollte.

Bereits die Diagnostik findet heutzutage zumindest teilweise auf einem exakteren Niveau statt: Zusätzliche Bildgebungsverfahren wie das Digitale Volumentomogramm (DVT) werden immer häufiger gezielt neben der Anfertigung konventioneller Röntgenbilder dazu verwendet, Klarheit über die individuelle dreidimensionale Anatomie komplexer Wurzelkanalsysteme zu schaffen, periapikale Läsionen genau zu lokalisieren oder Komplikationen wie Perforationen oder Frakturen auszuschließen.

Die Anwendung der Endometrie zur Längenbestimmung oder der Einsatz von optischen Vergrößerungshilfen wie Lupenbrillen oder Operationsmikroskopen gehören heute zum durchschnittlichen Behandlungsstandard in allgemeinärztlichen Praxen. Der Einsatz von Dentalmikroskopen in allgemeinärztlichen Praxen – zu endodontischen aber auch chirurgischen Zwecken - etabliert sich immer mehr.

Dennoch muss man auch zum heutigen Zeitpunkt feststellen, dass nachhaltige Keimfreiheit im Wurzelkanalsystem auch nach dem technischen und wissenschaftlichen Wissenszugewinn der letzten beiden Jahrzehnte zum heutigen Zeitpunkt nicht sicher erreicht werden kann [19].

Ein anderes Problem mit dem man sich als Behandler in der täglichen Praxis konfrontiert sieht, ist, dass dieses Niveau der modernen Endodontie und die dafür notwendigen

Leistungen aktuell immer noch nicht durch das Leistungsspektrum der gesetzlichen Krankenversicherungen abgedeckt wird: Wegweisend ist beim gesetzlich versicherten Patienten dabei das Wirtschaftlichkeitsgebot, welches im Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V) - Gesetzliche Krankenversicherung - (Artikel 1 des Gesetzes v. 20. Dezember 1988, BGBl. I S. 2477) § 12 Wirtschaftlichkeitsgebot, Absatz 1 festgelegt ist, wonach die Leistungen „[...] *ausreichend, zweckmäßig und wirtschaftlich* [...]“ [20] sein sollen. Zum Beispiel das Anwenden elektrometrischer Längenbestimmungsverfahren, chemische Desinfektionsverfahren oder auch der Einsatz maschineller Aufbereitungsmethoden oder Vergrößerungshilfen gehören weiterhin nicht zu den honorierten Leistungen. Der Behandler befindet sich also im Zwiespalt, die modernen Standards der Endodontie einzuhalten und damit das Erreichen hervorragender Behandlungsprognosen zu begünstigen, was ihm aber nur möglich ist, wenn der Patient bereit ist, die Kosten zu übernehmen, die über das vorab definierte „Maß des Notwendigen“ [20] hinausgehen. Dabei sollte man meinen, dass infolge des demografischen Wandels und des wachsenden älteren Bevölkerungsanteils auch die gesetzlichen Krankenversicherungen als Kostenträger ein Interesse an besseren Überlebensprognosen der behandelten Zähne haben müssten.

Der Patient ist also allein infolge der an ihn gerichteten finanziellen Frage gezwungen am Entscheidungsprozess zur entsprechenden Therapie teilzunehmen und erwartet vom Behandler oft eine klare Empfehlung bezüglich der Handlungsrichtung [21].

Durch diese dem Patienten auferlegte finanzielle Last, erfolgt möglicherweise ein Ausschluss jener Patientengruppe, die diese Hürde nicht bewältigen kann. Sie stellt den Behandler vor eine ethische Herausforderung, die nicht in der Verantwortung des Behandlers liegt, sondern als gesellschaftspolitische Entscheidung aus der Richtung der gesetzlichen Krankenkassen wahrgenommen wird [21].

Hinzu kommt, dass zeitlich parallel zu den Entwicklungen in der Endodontie auch die Chirurgie im Sinne des Zahnersatzes durch enossale Implantate eine massive Weiterentwicklung erfahren hat: Unter den steigenden, vergleichbar werdenden Überlebensraten dentaler Implantate [22] und der vermehrten Verbreitung unter einem immer breiter werdenden Patientenspektrum, sieht sich der Behandler mit der Frage konfrontiert ob ein bereits beherdeter Zahn zum Beispiel nach einer missglückten Wurzelkanalbehandlung, der sonst mit Hilfe endodontischer Verfahren zwar noch erhalten werden könnte, aber mit einer statistisch geringeren Erfolgsprognose verbunden ist, doch bereits entfernt und durch ein Implantat ersetzt werden sollte [22, 23].

Noch gilt der Zahnerhalt aber als grundlegendes Prinzip der Zahnheilkunde.

Es liegt nahe sich bei den bereits sehr weit fortgeschrittenen Entwicklungen der Aufbereitungs- und Abfüllmethoden in der Endodontie zu fragen, was in der Zukunft noch kommen wird: In ihrem Artikel mit dem Titel „Endodontie 2018 – Was geht, was bleibt, was kommt?“ schließen die Autoren [24] damit, dass die Beantwortung dieser Frage darin liegen könnte, dass der Behandlungserfolg mittelfristig durch „[...]eine sichere Desinfektion[...]“ und des sicheren „[...] Einsatz flexibler maschineller Feilensysteme auch für die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle [...]“ und einem allgemein „[...] minimalinvasiven Vorgehen [...]“ noch weiter angehoben werden könnte, und langfristig in einer „[...] echten Heilung durch die Regeneration der Pulpa [...]“ gipfeln könnte [24].

Die Frage nach dem Erfolg und ferner der Haltbarkeit einer durchgeführten Wurzelkanalbehandlung stellt sich meiner Erfahrung als Behandler nach in beinahe jeder Beratung als eine der ersten vom Patienten formulierten Fragen. Daneben entstehen Fragen nach Kosten und dem Zeitpunkt des Loswerdens möglicherweise vorhandenen Schmerzen und der Dauer der gesamten Therapie.

Deshalb sollte die vorliegende retrospektive Untersuchung als primäres Ziel ermöglichen, mit Hilfe der Auswertung des röntgenologischen Vergleichs der Beherdung bei Behandlungsbeginn und der letzten postendodontischen Röntgenkontrolle durch einen gleichbleibenden Untersucher, eine Einschätzung hinsichtlich der durchschnittlichen Haltbarkeit einer endodontischen Restauration speziell an ersten Prämolaren zu treffen und erlauben diese retrospektiv als langfristigen Erfolg oder Misserfolg kategorisieren zu können.

Weiterhin wurden innerhalb der Untersuchung Faktoren berücksichtigt, die zur positiven oder auch negativen Prognose beigetragen haben können: So wurde neben der oben genannten Fragestellung untersucht, ob für diese durchschnittliche Haltbarkeit ein Zusammenhang zwischen der Art der postendodontischen, definitiven Restauration und der Tendenz des Auftretens einer erneuten Parodontitis apicalis erkannt werden konnte. Auch der Zeitabstand zwischen dem Zeitpunkt des Einsetzens der postendodontischen Restauration in Relation zum Wurzelfülldatum wurde auf positiven oder negativen Einfluss der Erfolgswahrscheinlichkeit untersucht.

Weiterhin wurde untersucht, ob die Geschlechtsverteilung, das Alter der behandelten Patienten zu Beginn des Behandlungszeitraums, die Lokalisation des Zahns im Kiefer oder

die Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung, die Prognose im Sinne der Haltbarkeit negativ oder auch positiv beeinflusste.

Mein persönliches Ziel der vorliegenden retrospektiven Untersuchung war, alle Patienten, die mit der zuvor beschriebenen Problematik innerhalb des klinischen Alltags meines derzeitigen und künftigen Berufslebens vorstellig werden, hinsichtlich der Haltbarkeit einer endodontischen Behandlung unter Berücksichtigung diverser Faktoren, die die Prognose negativ oder auch positiv beeinflussen können, bei Ihrer Entscheidungsfindung zur Therapie evidenzbasiert, fachkompetent und auf meine eigenen Ergebnisse Bezug nehmend mit gutem Gewissen beraten zu können.

2 Literaturdiskussion

2.1 Endodontie allgemein

Im Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (European Society of Endodontology) als „Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung“ wird der Fachbereich der Endodontie und dessen Aufgaben wie folgt definiert:

Die Endodontologie befasst sich mit der Untersuchung der Form, Funktion und Gesundheit von Verletzungen und Erkrankungen der Zahnpulpa und des periradikulären Bereichs sowie deren Vorbeugung und Behandlung. Die Haupterkrankung ist die apikale Parodontitis, die durch eine Infektion verursacht wird. Die Ätiologie und Diagnose von Zahnschmerzen und -erkrankungen sind integraler Bestandteil der endodontischen Praxis. [...] Die endodontische Behandlung umfasst Verfahren, die darauf abzielen, die Gesundheit der gesamten Zahnpulpa oder eines Teils davon zu erhalten. Wenn die Zahnpulpa erkrankt oder verletzt ist, zielt die Behandlung darauf ab, normales periradikuläres Gewebe zu erhalten. Wenn eine apikale Parodontitis aufgetreten ist, zielt die Behandlung auf die Wiederherstellung der Gesundheit des periradikulären Gewebes ab: Dies erfolgt in der Regel durch eine Wurzelkanalbehandlung, gelegentlich in Kombination mit einer chirurgischen Endodontie. [25]

Während der Begriff „Wurzelkanalbehandlung“ eher eine spezielle Maßnahme zur Behandlung der irreversibel geschädigten, erkrankten oder traumatisierten vitalen Pulpa beschreibt [26], schließt der Begriff „endodontische Behandlung“ auch noch die Behandlung der umgebenden periapikalen Strukturen mit ein. Obwohl somit genau genommen ein Unterschied besteht, werden beide Begriffe oft synonym verwendet [26].

Mit Hilfe der Wurzelkanalbehandlung erweitert die Endodontie als Teilbereich der Zahnheilkunde das therapeutische Spektrum der Zahnmedizin, da so der Zahnerhalt noch ermöglicht wird, obwohl ein Verlust der vitalen Pulpa stattgefunden hat [27, 28]. So werden einerseits aufwendige Maßnahmen zum prothetischen Ersatz des nun noch erhaltungswürdigen Zahns vermieden, andererseits kommen so überhaupt erst gesamtprothetische Konzepte in Frage, die den nun erhaltbaren Zahn berücksichtigen [27].

Verschiedene Ursachen können zu einer Pulpitis führen, welche die häufigste Erkrankung des Endodonts darstellt: Karies, Parodontitis, Exposition der Pulpa bei Zustand nach Fraktur, aber auch Traumata im Rahmen der Präparation bei zahnärztlicher Behandlung kommen als Ursache in Frage [29]. Man unterscheidet die reversible von der irreversiblen Pulpitis. In beiden Fällen sind Bakterien bzw. deren Stoffwechselprodukte an der Entstehung beteiligt, die durch die Dentintubuli die Pulpa mit ihren Blutgefäßen und Nervengeflecht erreichen können und so eine Reaktion der Pulpa gegen den äußeren Reiz provozieren können. Zu Beginn kommt es in der Pulpa als Abwehrreaktion am ehesten zu einer

Hyperämie. Wird der ursächliche Reiz in dieser Phase der Irritation beseitigt, kann es zur Ausheilung kommen, sodass man von einer noch umkehrbaren, also reversiblen Pulpitis spricht.

Schreitet die Entzündung dagegen weiter fort, folgt auf die Hyperämie und die Vasodilatation der Blutgefäße also ein Ödem, welches sich in den Grenzen des Pulpenkavums nicht weiter ausdehnen kann, kann dies die Blutzufuhr und den -abfluss der Pulpa verlegen. Infolgedessen treten besonders neutrophile Granulozyten aus den Blutgefäßen des pulpalen Gewebes aus. Diese sondern Enzyme ab, die im Zusammenspiel mit den Bakterien der Mundflora das ehemals vitale Gewebe unter Gasentwicklung zu Pus zersetzen. Es kommt zum Niedergang der pulpalen Zellen, der sogenannten Pulpanekrose oder Pulpa-gangrän. Ohne das Eingreifen mittels therapeutischer Maßnahmen breitet sich die ursprüngliche Infektion der Pulpa über das Wurzelkanalsystem bis ins umgebende Parodont aus, weshalb man dann von einer „Parodontitis apicalis“ spricht. Die Bakterien verursachen im periradikulären Knochen eine akute oder auch chronische Entzündung. Infolge dessen baut der Körper den umgebenden Knochen in Granulationsgewebe um [30]. Der Hintergrund dafür ist das Immunsystem, welches die Entzündung zuerst einzugrenzen und dann zu beseitigen versucht, mit dem Ziel das Verbreiten in den restlichen Körper zu vermeiden [29, 31].

Eine weitere Art, wie die Bakterien anstellte infolge von Karies, die Pulpa erreichen und eine Pulpitis verursachen könnten, ist, wenn eine marginale Parodontitis Knochenabbau verursacht hat, sodass die Wurzeloberfläche nicht mehr knöchern bedeckt ist, und so eine retrograde Infektion über seitliche Kanäle stattfinden kann [32]. Der Weg über den Parodontalspalt kann ebenfalls zur Eintrittspforte werden, wenn beispielsweise infolge einer Bisserrhöhung durch eine Restauration eine Überbelastung des umgebenden Parodonts stattgefunden hat [30]. Vergleiche hierzu Abbildung 1.

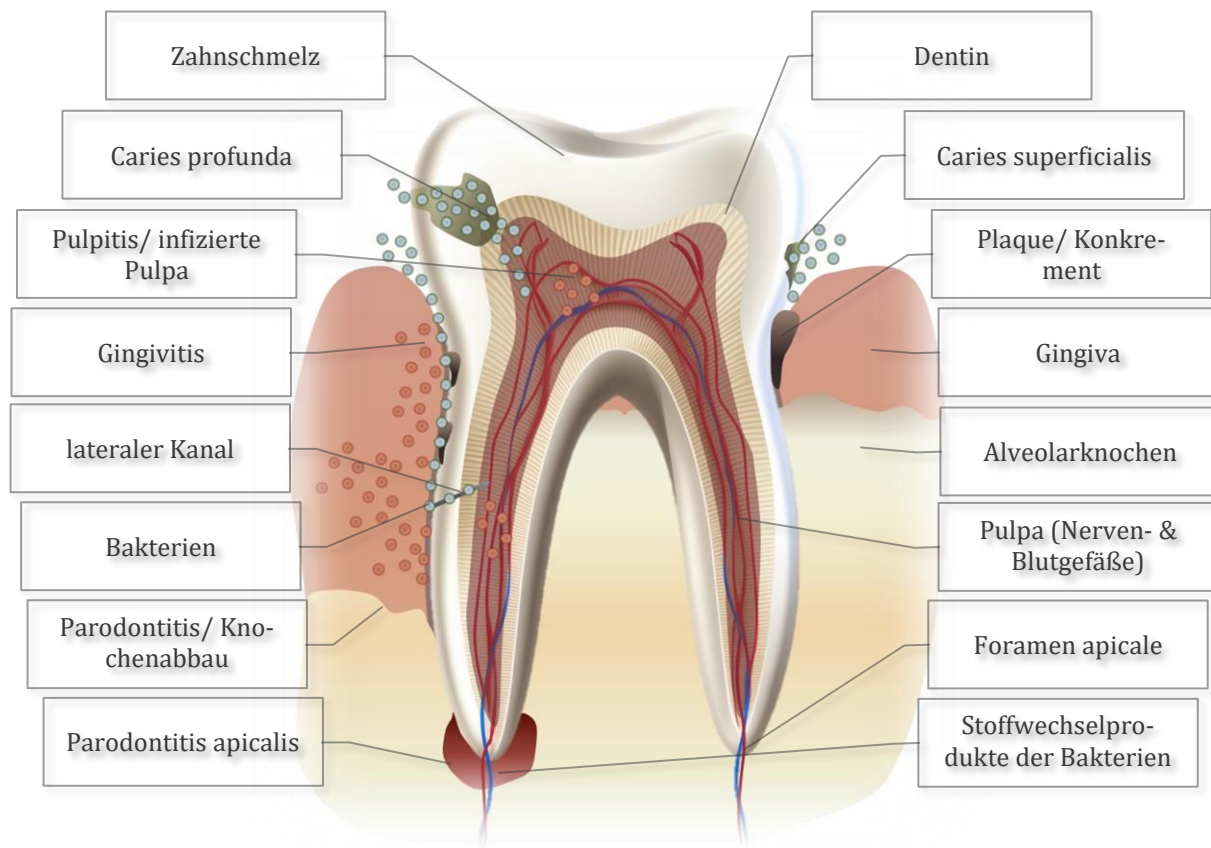


Abbildung 1: Mögliche Infektionswege bakterieller Besiedlung des Endodonts und Kommunikation der Pulpa und des Parodonts

Bild generiert mit „Midjourney“ am 06.02.2024 und eigenhändig angepasst mittels „Microsoft PowerPoint“, siehe Kapitel 8: Anhang

Ist der Zustand der irreversiblen Pulpitis, der Pulpennekrose oder sogar der primären Parodontitis apicalis erreicht, ist eine endodontische Erstbehandlung im Sinne der Trepanation und der Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung als Therapie der Wahl indiziert. Im Rahmen dieser Behandlung soll das infizierte Gewebe entfernt und die Infektion kuriert werden [32]. Doch dies stellt nicht das einzige Ziel dar.

In seinem Buch „Kompromisse und Grenzen in der Endodontologie“ aus 2005 zeigt Thomas Mayer die Divergenz der klinischen und technischen (mechanischen und chemischen) Ziele einer Wurzelkanalbehandlung auf: Während der Patient im klinischen Alltag meist infolge der Belastung seiner Beschwerdesymptomatik eher Wert auf schnellstmögliche Beschwerdefreiheit und die Wiederherstellung der Funktion des betreffenden Zahns im Kau-system legt, bieten sich für den behandelnden Zahnarzt zusätzlich technische oder mechanische Ziele, die ein ideales Behandlungsergebnis erreichen sollen [27]. Das mechanische Aufbereiten hat zum Ziel das natürliche Kanalsystem bzw. den natürlichen Kanalverlauf in konischer Form bis zum Foramen physiologicum, aber unter Bewahren der apikalen Konstriktion, zu formen. Dabei soll das infizierte Pulpagewebe sowie die Reste

der abgetragenen Kanalwände möglichst vollständig entfernt und die chemische Desinfektion ideal vorbereitet werden. Infolge des Aufbereitungsprozess und der Desinfektionsmaßnahmen sollen außerdem alle Bakterien und ihre Toxine aus dem Kanalsystem eliminiert werden. Anschließend soll das Kanalsystem vollständig abgefüllt werden. [27] Durch die Wurzelfüllung soll die erneute Besiedlung mit Mikroorganismen verhindert werden, indem der Austausch zwischen der Mundhöhle, dem Endodont und auch dem apikalen Parodont suffizient verhindert wird [29]. Sofern bereits röntgenologische Entzündungszeichen vor der Behandlung festgestellt werden konnten, sollte langfristig eine Verbesserung dieser oder idealerweise das gänzliche Fehlen der Entzündungszeichen röntgenologisch nachweisbar sein [27]. Es ist auch Thomas Mayer, der darstellt, dass die geringe Überprüfbarkeit der Bewältigung, der sich bei der Behandlung ergebenden Herausforderungen auf physikalisch-mechanischer Ebene, in keinem Vergleich zur Umsetzung des klinisch geforderten Anspruchs stehen. Mayer argumentiert, dass deshalb

[...] in den Qualitätsrichtlinien bewusst nur klinische und röntgenologische Kriterien verwendet [werden], da uns in der Praxis keine anderen diagnostischen Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um die endodontische Behandlung auf den biologischen Erfolg zu überprüfen. [27]

Er schreibt 2005 in seinem Buch „Kompromisse und Grenzen in der Endodontologie“ schlussfolgernd:

In der täglichen Praxis ist derzeit nicht zuverlässig zu überprüfen, ob die Infektion aus dem Kanalsystem beseitigt, die apikale Konstriktion genau erreicht und alle Kanalbereiche gereinigt und gefüllt sind. Meilensteine auf dem Weg zu diesem Ziel, die elektrische Längmessung und die Aufbereitung mittels Sehhilfen (z.B. Operationsmikroskop), dürfen an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben. [27]

Nach der Wurzelfüllung sollte, um eine erneute Rekolonisation mit Bakterien zu vermeiden, eine bakteriendichte postendodontische Versorgung am Zahn vorgenommen werden. Die Art der postendodontischen Versorgung sollte dem Ausmaß des Zerstörungsgrads des Zahns von direkten Restaurationen wie Kompositfüllungen über indirekte höckerumfassende Restaurationen wie Onlays, Teilkronen oder auch Vollkronen sinnvoll angemessen sein [31].

Bei Zähnen mit besonders großem Zerstörungsgrad empfiehlt die DGZMK in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme aus dem Jahr 2003 die Insertion von Stiftaufbauten „[...] zur Schaffung einer zuverlässigen Retention für den Aufbau [...]“ [33].

Welche Restaurationsart im individuellen Fall gewählt werden sollte, und welchen Einfluss dies auf die postoperative Erfolgswahrscheinlichkeit haben kann, wird näher in Kapitel 2.6.3 erläutert.

Ähnlich wie Karies ist die apikale Parodontitis eine sehr häufig vorkommende Erkrankung: Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2021 mit dem Titel „Die globale Prävalenz der apikalen Parodontitis: Eine systematische Überprüfung und Metaanalyse“ schlussfolgert, dass die Hälfte der erwachsenen Bevölkerung weltweit mindestens einen Zahn hat, der eine apikale Parodontitis aufweist [34]. Ihre Prävalenz nimmt mit zunehmendem Alter zu [35, 36]. Bei bereits wurzelgefüllten Zähnen kommt die apikale Parodontitis dabei viel häufiger vor als bei unbehandelten Zähnen mit primärer apikaler Parodontitis [34, 37]. Obwohl die Wurzelkanalbehandlung also die Therapie der Wahl für Zähne mit einer primären Parodontitis apicalis darstellt, zeigt die klinische Realität, dass nicht jede primäre apikale Parodontitis langfristig zur Verkleinerung oder zur vollständigen knöchernen Ausheilung kommt [38], sodass man in diesem Zusammenhang von einer „persistierenden“ oder „posttherapeutischen“ oder auch „postendodontischen“ Parodontitis apicalis spricht.

2.1.1 Posttherapeutische Parodontitis apicalis

Generell ist die apikale Parodontitis eine Entzündungsreaktion im periradikulären Gewebe auf im Endodont anwesende Mikroorganismen [39], auch wenn es sich um sekundäre Parodontitis apicalis handelt. Häufig werden sie bei postoperativen röntgenologischen Kontrollen auffällig [40], da sie klinisch eher einen asymptomatischen Verlauf zeigen [41]. Bei den sogenannten sekundären apikalen Parodontitiden oder posttherapeutischen apikalen Parodontitiden unterscheidet man neu aufgetretene von persistierenden oder rezidivierenden Parodontitiden [42].



Abbildung 2: Beispiel einer Läsion endodontischen Ursprungs (LEO) an Zahn 24 nach einer bereits vorliegenden Wurzelkanalfüllung



Abbildung 3: Apikale Behinderung an Zahn 14 festgestellt im Rahmen der Röntgenverlaufskontrolle einige Zeit nach WF - Entscheidung zur Revision

Die Angabe wie viel Prozent der wurzelkanalbehandelten Zähne eine solche posttherapeutische endodontische Infektion aufweisen schwankt zwischen 30-45% [43, 44]. Insgesamt haben Untersuchungen gezeigt, dass eine apikale Parodontitis häufiger bei bereits wurzelgefüllten Zähnen als bei unbehandelten Zähnen auftritt [37].

Mehrere Ursachen können zu einer sekundären oder persistierenden Infektion führen, die letztlich alle auf eine unzureichende Asepsis beim Aufbereitungsprozess oder zum Zeitpunkt der Wurzelfüllung zurückzuführen sind [41]:

Zuvor bereits vorhandene Bakterien können im Endodont in Form von restinfiziertem Gewebe im Kanalsystem zurückbleiben, wenn die chemo-mechanische Reinigung nicht ausreichend war oder die Kanal Anatomie zu komplex für das vollständige Erreichen war. Prognostisch ungünstig, aber dennoch möglich, wäre es, dass die Bakterien innerhalb des Behandlungsprozess auch neu eingebracht werden, oder temporäre oder auch definitive Restaurationen undicht werden [27, 45].

Aber auch extraradikulären Faktoren wie Fremdkörperreaktion auf Überfüllung oder Vorkommen von echten zystischen Läsionen, können ursächlich sein, weshalb es in der Verlaufskontrolle zu röntgenologisch sichtbaren Aufhellungen im periapikalen Bereich kommen kann [46].

Infolge der tendenziell unmöglichen Beprobung der Gesamtheit des Endodonts (apikale Deltas, Isthmen, seitliche Dentinkanälchen) wäre ebenso möglich, dass eine Wurzelkanalinfektion zurückbleibt, die röntgenologisch zwar noch nicht oder kaum sichtbar ist, histologisch aber dennoch nachweisbar wäre [47].

Dass eine Abhängigkeit des periapikalen Heilungsprozess von der zuvor erreichten bakteriellen Kontamination des Endodonts besteht, zeigt eine Studie in der Beprobungen unmittelbar nach Instrumentierung durchgeführt wurden: Ihr Ergebnis zeigte, dass sich die periapikale Heilung bakteriell-negativ beprobter Kulturen mit 94% statistischer 5-Jahres-Überlebensrate signifikant von der nur 68% hohen 5-Jahres-Überlebensrate bakteriell-positiv beprobter Wurzelkanäle vor der Obturation unterscheidet [48].

Postendodontische Infektionen weisen charakteristische im Endodont vorkommende Erreger auf, welche sich vom Spektrum primärer Infektionen unterscheiden. [41, 49, 50]

Grampositive Bakterien dominieren dieses Spektrum. [6, 41, 45, 51]

In den meisten Fällen handelt es sich um Mischinfektionen [46]. Bei bereits behandelten Zähnen fällt die Vielfältigkeit der Stämme deutlich geringer aus. [6, 45, 50]

Im Allgemeinen wird das Spektrum resistenter angenommen als jenes einer Primärinfektion [6, 41].

Die Literaturangaben unterscheiden sich hinsichtlich der Angabe der am häufigsten vorkommenden Bakterien: Während manche Autoren die dominante Beteiligung des Keims „Enterococcus faecalis“ hervorheben [45, 50], betonen andere ausdrücklich, dass E. faecalis nicht die dominanteste Art im Keimspektrum aufwies [46].

Auch Lactobazillus-Spezies, Streptococcus-Spezies, Propionibakterien und Peptostreptokokken-Stämme, Actinomyces und das Vorkommen von Candida-Hefepilzen wird im Zusammenhang mit der Besiedelung wurzelgefüllter Zähne mit apikaler Parodontitis an verschiedenen Stellen der Literatur genannt [41, 52, 53]. In einer weiteren Studie waren grampositive fakultative Anaerobier dominierend und in folgender Reihenfolge absteigend prozentual vorhanden: Staphylokokken, Streptokokken, Enterokokken [53].

Eine Studie untersuchte unter Hervorhebung, dass die meisten Beprobungen lediglich den Bereich des Hauptkanals betreffen, den operativ periradikulär entnommenen Bereich auf enthaltene Erbsubstanz pathogener Bakterien: Hier dominierten Streptokokkus-Spezies, Actinobacter-Stämme und P. alactolyticus als am häufigsten vertretene Stämme das apikale Kanalsystem [54].

Wie bei primären apikalen Läsionen, gilt es bei der Therapie sekundär postendodontisch apikaler Läsionen die bakterielle Besiedelung erneut so signifikant zu reduzieren, dass es mit einer Ausheilung der periradikulären Läsion vereinbar ist [51].

Eine erneute Wurzelkanalbehandlung, die sogenannte Revision, ist prognostisch weniger günstig einzuschätzen als eine Erstbehandlung [45]. Dabei tragen möglicherweise die schlechte Erreichbarkeit der zurückbleibenden Bakterien und das resistenterere Keimspektrum maßgeblich zur schlechteren Prognose bei [45].

Je nachdem, was histologisch im Bereich der röntgenologischen Aufhellung auf Zellebene nachgewiesen werden könnte, unterscheidet man grob:

- ❑ (Peri-)apikale Granulome, die sich aus einer chronisch apikalen Parodontitis entwickeln. Sie lassen sich histologisch charakterisieren durch: Ansammlungen entzündlicher Zellen wie Lymphozyten, Monozyten bzw. Makrophagen, Langerhans-Riesenzellen und Epitheloidzellen, und begleitender Fibrose (faserreiches Bindegewebe) infolge des entzündlich bedingten Abbaus periapikalen Knochens [55, 56]
- ❑ Radikuläre Zysten, also odontogene Zysten, die über den Weg einer chronisch apikalen Parodontitis entstanden sind, und deren periapikaler Hohlraum von einem Zystenbalg ausgekleidet ist, deren dreischichtiger Wandaufbau pathohistologisch charakteristisch ist. Ihre innerste Schicht besteht aus einem mehrschichtig nicht-

verhornenden Plattenepithel. Infolge entzündlicher Stimulation der Malassez-Epithelinseln stammend aus der Hertwig'schen Epithelscheide der Zahnleiste proliferieren diese und es kann zur Bildung einer radikulären Zyste kommen [57-60].

Der Übergang eines apikalen Granuloms in eine radikuläre Zyste sollte als fließend betrachtet werden: Jedes Granulom trägt tendenziell das Potential zu einer radikulären Zyste zu proliferieren in sich [57]. Während sich histopathologisch Granulome und radikuläre Zysten auf Zellebene unterscheiden lassen, beruht die röntgenologische Differenzierung auf am ehesten auf einem Abschätzen der Größe, welches als sehr ungenau anzusehen ist. Klinisch lässt sich erst innerhalb des operativen Eingriffs erkennen, ob der knöchernen Hohlraum nur Granulationsgewebe enthält, oder bereits von einem Epithel ausgekleidet ist [57].

Während die Therapie der Wahl für ein Granulom das Einleiten einer Wurzelkanalbehandlung bzw. die Revision zur Sanierung des Entzündungsherds bedeutet, wird bei Verdacht auf eine radikuläre Zyste ein operativer Eingriff zum Abtrennen der entzündeten Wurzelspitze nur fakultativ notwendig, wenn eine vorherige Revision versagt hat [55].

Dagegen besteht die Therapie einer radikulären Zyste obligat aus einem operativen Eingriff, in dem entweder der vollständige Zystenbalg entfernt wird (Zystektomie, Partsch II) oder ein Teil des Zystenlumens gefenstert und später der Mundhöhle angeschlossen wird (Zystostomie, Partsch I) [60].

Es lässt sich also zusammenfassen: Je nach Ursache der persistierenden Infektion genügt der allein konservierende Ansatz einer Revisionstherapie oder es wird eine chirurgische Intervention in Form einer Wurzelspitzenresektion notwendig [47].

2.2 Erste Prämolare des Ober- und Unterkiefers

2.2.1 Allgemeine Anatomie erster Prämolare

Da in dieser Dissertation ein besonderes Augenmerk auf erste Prämolare gelegt werden soll, soll an dieser Stelle nach der Klärung einiger zahntypenübergreifender Grundsätze der Pulpamorphologie, auf die für die endodontische Behandlung von Prämolaren relevanten anatomischen Besonderheiten, auch hinsichtlich der Kanalanatomie, eingegangen werden: Das Gewebe der Pulpa besteht aus einer spezialisierten Form gallertigen Bindegewebes, welches von Blut- und Lymphgefäßen aber auch Nervengewebe durchsetzt ist. Die Pulpa erstreckt sich im Allgemeinen von der koronalen Pulpakammer

(Kronenkavum) bis in die Wurzelkanäle. Im koronalen Bereich wird die Pulpa von Dentin und Zahnschmelz umschlossen, im Bereich der Wurzel liegt dem Dentin anstelle des Schmelzes außen der Wurzelzement auf. [29]

Die Form des Pulpenkavums folgt in der Regel der Form des einzelnen Zahns. Während jugendliche Zähne eher große Pulkammern aufweisen, wird das Pulpenkavum mit dem Alter eher kleiner und obliteriert zunehmend. [61]

Das Pulpenkavum erhebt sich im Bereich der Zahnhöcker zipfelartig zu Pulpahörnern. Am Boden des Kronenkavum zweigen sich die Wurzelkanäleingänge (Orifizien) in die Hauptkanäle des Wurzelkanalsystem ab. Diese Hauptkanäle können über laterale Wurzelkanäle mit dem die Wurzel umgebenden Desmodontalspalt im Austausch stehen. Im Bereich der Wurzelspitze, dem sogenannten apikalen Drittel, endet der Hauptkanal häufig in sogenannten flussdeltaartigen Verzweigungen, den apikalen Ramifikationen. [62]

Auch im Bereich der Furkation konnten Abzweigungen des Hauptkanals, sogenannte akzessorische Kanäle, nachgewiesen werden [63]. Ebenso konnte man zeigen, dass verschiedene Hauptkanäle durch transversale Anastomosen kommunizieren können [64].

In einer idealisierten Vorstellung verzüngen sich die Hauptkanäle zur Wurzelspitze hin mit durchgängig rundem Querschnitt zu einer apikalen Konstriktion, dem physiologischen Foramen. Hier vereinigen sich das die Wurzel zum Desmodontalspalt hin umgebende Wurzelzement und das Wurzelkanalsystem auskleidende Wurzelzement. [62]

Vergleiche hierzu Abbildung 4.

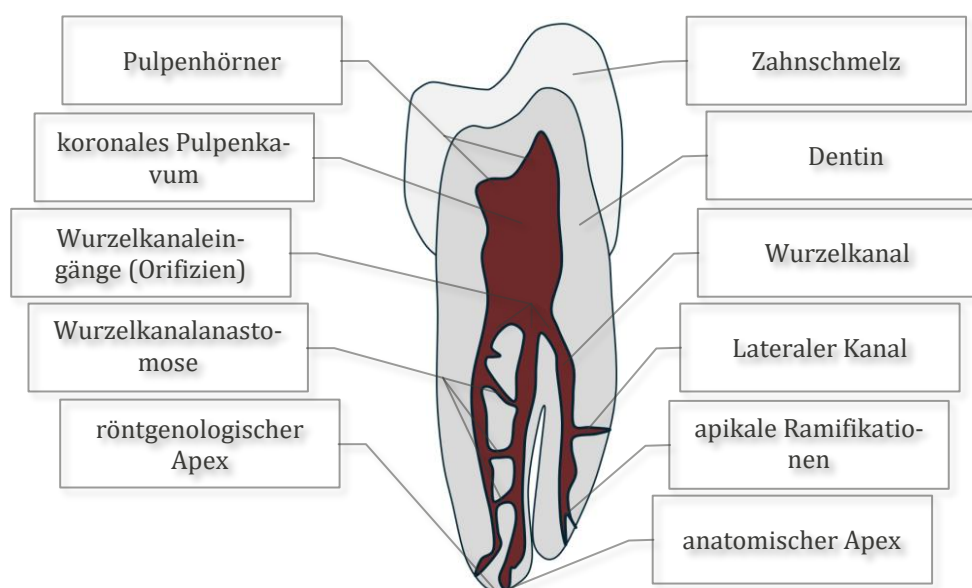


Abbildung 4: Schema zur Anatomie erster Prämolare

Davon lässt sich das Foramen apikale, der anatomische Apex abgrenzen, dass die Öffnung des Wurzelkanals zum parodontalen Ligament darstellt. Davon wiederum unterscheidet man den röntgenologischen Apex, welcher bei röntgenologischer Untersuchung den am weitesten apikal gelegenen Punkt der Wurzelspitze markiert. [62]

Mehrere Studien beschäftigten sich in der Vergangenheit mit der Untersuchung des Abstands des Foramen physiologicum zum anatomischen Apex und kamen dabei zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen [65-68]: Die am häufigsten in der Literatur angegebene Längendifferenz beträgt 0,5 -1mm Abweichung zwischen Foramen physiologicum und Foramen apikale. [41, 62]

Eine Studie aus dem Jahr 2004 – allerdings an oberen und unteren Molaren - konnte zeigen, dass mit einer Häufigkeit von 70% die Form des physiologischen Foramens oval, und nicht wie idealerweise angenommen, rund ist. Diese Studie zeigte auch das Vorhandensein und die Häufigkeit sogenannter akzessorischer Foramina am Beispiel von mesiobukkalen bzw. mesialen Wurzeln von Molaren des Ober- und Unterkiefers. [69]

Im Unterschied zur allgemeinen, idealisierten Annahme der Wurzelkanalanatomie darf also nicht von einem Hauptkanal runden Querschnitts ausgegangen werden, der sich apikalwärts gleichmäßig bis zum Foramen physiologicum verjüngt und in einem einzigen apikalen Foramen mündet. [70]

Die Kenntnis möglicher morphologischer Varianten des Wurzelkanalsystems der unterschiedlichen Zahntypen kann eine Orientierungshilfe bei der Aufbereitung des Kanalsystems darstellen, da diese klinisch-röntgenologisch nur unzureichend zu erfassen sind.[62] Gleichzeitig stellt das vollständige Auffinden, Aufbereiten und Abfüllen des Kanalsystems aber eine Voraussetzung für den endodontischen Erfolg dar. [62, 71]

Die zuvor genannten Abzweigungen des sogenannten Hauptkanals sind zum Beispiel für mechanische Aufbereitungsmaßnahmen sehr schwer zugänglich [62]. In deren Nichtaufbereiten kann die Ursache des Misserfolgs einer Wurzelkanalbehandlung gesehen werden und so die anschließende chirurgische Intervention notwendig werden. [72]

1984 veröffentlichte F.J. Vertucci eine Studie, in der er die Vielfalt der Wurzelkanalsysteme allgemein systematisiert: Seine Klassifikation berücksichtigt acht Typen der Wurzelkanalkonfiguration innerhalb der Einzelwurzel. Unterschieden werden dabei die Anzahl der Kanäle, deren Verlauf innerhalb der Wurzel und die Anzahl der Austrittsstellen, der sogenannten apikalen Foramina, dieser Kanäle. [73] Vergleiche hierzu die nachfolgende Tabelle 1.

Tabelle 1: Wurzelkanalkonfigurationen und ihre Klassifikation, Modifikation nach Vertucci (1984) [73]

Typ I	Nur ein Wurzelkanal allein erstreckt sich vom Pulpenkavum bis zum Apex
Typ II	Zwei Wurzelkanäle zweigen sich unabhängig voneinander aus dem Pulpenkavum ab und konfluieren vor dem Apex erneut zu einem Kanal
Typ III	Ein Einzelkanal zweigt sich aus dem Pulpenkavum ab und gliedert sich im weiteren Verlauf der Wurzel in zwei separate Kanäle auf, diese konfluieren vor dem Apex erneut zu einem Kanal
Typ IV	Zwei getrennte Kanäle zweigen sich aus dem Pulpenkavum ab und verlaufen separat durch die gesamte Wurzel bis zum Apex
Typ V	Ein Einzelkanal zweigt sich aus dem Pulpenkavum ab, der sich nahe dem Apex in zwei separate Kanäle mit zwei getrennten Foramina aufteilt
Typ VI	Zwei getrennte Kanäle entspringen dem Pulpenkavum, konfluieren im Verlauf der Wurzel zu einem Einzelkanal, teilen sich aber vor dem Apex wieder und verlassen die Wurzel als getrennte Kanäle mit zwei Foramina
Typ VII	Ein einzelner Kanal entspringt dem Pulpenkavum, teilt sich zuerst im Verlauf der Wurzel zu zwei separaten Kanälen um sich anschließend wieder zu einem Einzelkanal zu vereinigen, verlässt dann den Apex aber doch als zwei getrennte Kanäle mit zwei Foramina
Typ VIII	Drei getrennte Kanäle verlaufen aus dem Pulpenkavum bis zum Apex

Nicht nur die allgemeine Anatomie der Wurzel, auch die Anzahl der Wurzeln und die Inzidenz der vorkommenden Wurzelkanalkonfiguration unterscheidet sich bei ersten Prämolaren je nach Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer:

Die Morphologie der Pulpakammer des ersten oberen Prämolars wird in der Literatur im Bereich der Kronenpulpa in orovestibulärer Richtung weit und in mesiodistaler Richtung eng beschrieben: Charakteristisch sind 2 ausgeprägte Pulpahörner, bukkal und palatinal, unterhalb den Höckerspitzen. Der für den ersten Prämolaren des OK kennzeichnende Einziehung der mesialen Wand, folgt auch die Form der mesialen Pulpa und kann so innerhalb der Trepanation ein Risiko für seitliche Perforationen bergen. [61, 62]

Vergleiche hierzu Abbildung 5.

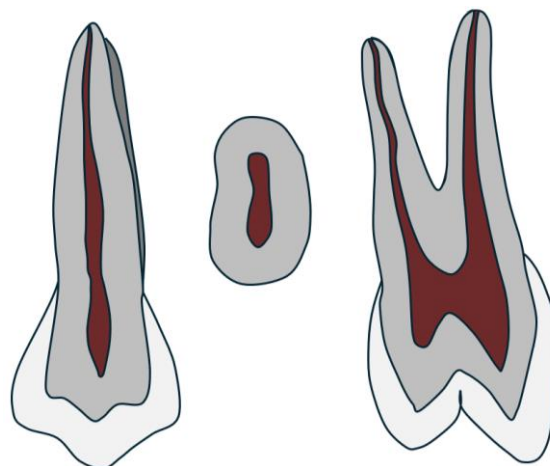


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines oberen ersten Prämolaren der rechten Patientenseite im Quer- und Längsschnitt

In Anlehnung an die Quelle: Stiftverankerungen in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde, G.L. Courtade/J.J. Timmermans, Quintessenz-Verlag, Berlin, 1979, S.49

Der erste Prämolare des OK weist hinsichtlich seiner Wurzelanzahl und der Wurzelkanalkonfigurationen eine starke Variationsbreite auf: Diverse Studien der letzten Jahre und Jahrzehnte beschäftigten sich mit der statistischen Untersuchung der Anzahl der Wurzeln, der Anzahl der Kanäle und deren Ausgänge und teilweise auch der Kategorisierung und Erhebung der Wurzelkanalkonfiguration.

Schon 1979 veröffentlichten Vertucci und A. Gegauß eine Studie, die die Wurzelkanalmorphologie speziell erster Prämolare des Oberkiefers untersuchte und konnten hier zeigen, dass 69% der untersuchten Zähne 2 Kanäle, 26% 1 Kanal und 5% sogar 3 Kanäle im Bereich des Apex aufwiesen. 49,5 % der untersuchten Kanäle wiesen außerdem laterale Kanäle auf, vorzugsweise befanden sich diese im apikalen Drittel und verließen den Hauptkanal am häufigsten in palatinale Richtung. Weiterhin breiteten sich 11 % der Kanäle vom Pulpenkammerboden in Richtung Furkation aus. [71]

1992 veröffentlichten J.D. Pécora et al. ihre Auswertung von 240 extrahierten ersten Prämolaren des OK: Von allen untersuchten Prämolaren hatten 80,4% 2 Kanäle, 17,1 % einen Kanal und nur 2,5 % drei Kanäle. [74]

2008 wurde eine ähnliche Studie an einem größeren Untersuchungsgut erster Prämolare des Oberkiefers einer jordanischen Population durchgeführt und kam zu ähnlichen Ergebnissen hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung: Von den 600 untersuchten ersten Prämolaren des Oberkiefers hatten 63,2% zwei getrennte Wurzeln, 30,8% eine Wurzel und 5,2% hatten gegabelte Wurzeln (Bifurkation). Der Großteil von 79,7% hatte 2 Kanäle mit 2 getrennten apikalen Foramina. Nur 3,3% der Zähne besaßen das Typ I Kanalsystem nach der Klassifikation nach Vertucci (1984); also nur einen Kanal, der vom Pulpenkavum bis zum Apex führt. [73, 75]

Ein sehr ähnliches Ergebnis für die Wurzel- und auch die Wurzelkanalkonfiguration erster Prämolare des Oberkiefers lieferte auch ein Literaturreview aus dem Jahr 2016: Auch hier hatte die Mehrheit der Zähne zwei Wurzeln, gefolgt von einer Wurzel. Hier hatte die große Mehrheit der ersten Prämolaren des OK die Typ IV Konfiguration nach Vertucci (1984) der Wurzelkanäle, also zwei getrennte Wurzelkanäle, die sich bis zum Apex erstrecken. [73, 76]

Zusammengefasst entspricht der erste Prämolare des OK also am ehesten einem zweiwurzigen Zahn. Die verbreitetste Kanalkonfiguration stellte der Typ IV nach Vertucci (1984) mit 2 Kanälen und 2 getrennten apikalen Foramina dar [71, 74-76]. Laterale

Kanäle als Vernetzungen in transversaler Richtung konnten in verschiedenen Studien belegt werden. [71, 76]

Die für die oberen ersten Prämolaren ermittelten durchschnittlichen Zahnlängen, die in zwei verschiedenen Studien in den Jahren 1974 und 1995 veröffentlicht wurden, liegen bei 19,9mm und 22,3mm. [64, 77]

Für die Bestimmung der Arbeitslänge während des Aufbereitungsprozess, kann die Kenntnis der durchschnittlichen Zahnlängen der einzelnen Zahntypen als Orientierungswert sehr hilfreich sein. [45, 62]

Die durchschnittlichen Längen des unteren ersten Prämolars, die ebenfalls in den beiden zuvor genannten Studien ermittelt wurden, unterschieden sich von den des Oberen und betragen 21,2mm bzw. 22,9mm. [64, 77]

Im Mittel ist er also etwas größer als sein Nachbar im antagonistischen Kiefer. Sein Pulpenkavum ähnelt in der Form des Kronenkavums der weiten orovestibulären und schmalen mesiodistalen Ausdehnung des oberen ersten Prämolars, die Kronenpulpa des unteren ersten Prämolars weist bukkal jedoch ein höheres Pulpenhorn auf als lingual. [41]

Vergleiche hierzu Abbildung 6.

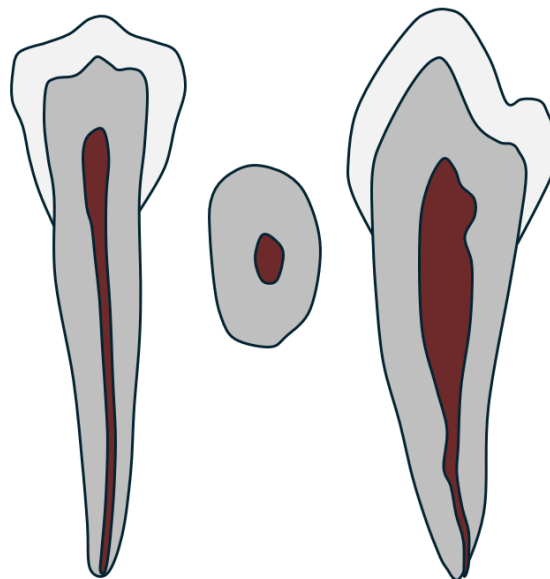


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines unteren ersten Prämolars der rechten Patientenseite im Quer- und Längsschnitt

In Anlehnung an die Quelle: Stiftverankerungen in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde, G.L. Courtade/J.J. Timmermans, Quintessenz-Verlag, Berlin, 1979, S.57

In der Literatur wird dieser Zahn als überwiegend einwurzig mit einem Kanal, der Typ I-Konfiguration nach Vertucci (1984) beschrieben. [62, 73]

Dennoch kann es bei Zähnen dieser Art auf unterschiedlicher Höhe der Wurzel zu einer Teilung des Wurzelkanalsystems kommen: Ab diesem Punkt durchziehen zwei Kanäle dann entweder weiterhin eine gemeinsame Wurzel oder zwei getrennte Wurzeln mit je einem getrennten Foramen. Bei bis zu einem Drittel der ersten Unterkiefer-Prämolaren kann diese anatomische Variation vorkommen. [45]

In Baisden, M.K., J.C. Kulild, and R.N. Wellers Veröffentlichung aus 1992 enthielten 76% der Prämolare Typ I-konfigurierte Kanäle und 24% enthielten Typ IV. Von besonderem Interesse in dieser Studie war die Querschnittsform der untersuchten Kanäle, die überwiegend rund oder oval war. Interessant war die Anzahl der im Querschnitt sichelförmigen Wurzelkanalform, die vorwiegend mit dem Typ IV Kanalsystem assoziiert war: Dies kam in 14% der Wurzeln vor. [78]

In einem Literaturüberblick aus 2007, der Studien der Anatomie und der Morphologie an 6700 mandibulären Prämolaren auswertet, lauten die Ergebnisse, dass fast 98% der ersten unteren Prämolaren einwurzig sind, und nur 1,8% zweiwurzig bzw. 0,2% dreiwurzig sind. Hierbei wiesen 75,8% der in die Studie eingegangenen Zähne nur einen Kanal auf und nur 24,2% zwei oder mehr Kanäle auf. Ein apikales Foramen war bei der Mehrzahl der der Zähne mit 78,9% vorliegend; 21,2% wiesen zwei oder mehr apikale Foramina auf. Insgesamt weisen die Autoren dieser Studie auch darauf hin, dass ein Einfluss der „[...] Genetik [...]“ [79] und der „[...] rassenspezifischen Variation [...]“ [79] für die Unterschiede in der Anzahl der Wurzeln und im Vorkommen der enthaltenen Kanäle ursächlich sein könnte: Höhere Inzidenzen bzgl. der Anzahl der Wurzeln und Kanälen seien nämlich bereits in vorangegangenen Studien mit Populationen aus China, Australien und südlichem Afrika nachgewiesen worden. [79]

Fasst man die Ergebnisse der zuvor zitierten Studien zusammen, gelten erste Prämolare des Unterkiefers insgesamt also nicht nur als etwas länger als ihre Antagonisten im Oberkiefer, sondern sind tendenziell eher einwurzlige Zähne, deren Kanalkonfiguration am ehesten ein Kanal, der in einem apikalen Foramen mündet, darstellt [45, 62, 73, 78, 79].

Die Autoren der oben angeführten Studien, formulieren ihr Fazit zwar in unterschiedlichen Worten, stimmen inhaltlich aber weitestgehend überein. Cleghorn et al. schließen das Abstract ihres Literaturreviews mit den Worten: „[...] Die Wurzel- und

Wurzelkanalmorphologie dieses Zahns kann komplex sein und erfordert eine sorgfältige Beurteilung vor der Wurzelkanaltherapie.“ [79]

Für eine exakte Durchführung der Wurzelkanalbehandlung gilt die genaue Kenntnis der Morphologie der Pulpa als essenziell. [71]

Der Kliniker sollte sich der möglichen anatomischen Variationen der Pulpa und deren Beziehung zu den umgebenden Strukturen bewusst sein: Dies gilt nicht nur für den Zeitraum der Planung vor Beginn der endodontischen Behandlung, sondern auch für den Zeitpunkt der Aufbereitung und der Wurzelfüllung, aber auch für die sich möglicherweise anschließenden restaurativen, parodontalen und chirurgischen Behandlungen. [71, 76]

2.2.2 Endodontische Besonderheiten erster Prämolaren

Aus der zuvor ausführlich behandelten Anatomie und den Varianten der Morphologie der Pulpa erster Prämolare, ergeben sich einige Schwierigkeiten speziell für die endodontische Therapie erster Prämolare, auf die hier noch einmal eingegangen werden soll:

Für die Endodontie relevanter als die Anzahl der Wurzeln, ist, hinsichtlich des damit einhergehenden Schwierigkeitsgrads der Aufbereitung, die Anzahl der Kanäle pro Wurzel: Allein die statistische Variationsbreite der Kanalanzahl & -morphologie des ersten Prämolaren stellt eine Herausforderung in der endodontischen Behandlung dar. [41, 79]

Laut Ng et al. bergen Prämolare, da sie tendenziell mehrwurzlige Zähne sein können, das Risiko ungefüllter Bereiche innerhalb der Wurzelfüllung beispielsweise in Form von Isthmen oder kleineren Seitenkanälen [80]. Besonders die sichelförmige Kanalmorphologie unterer erster Prämolare sollte in diesem Zusammenhang noch einmal hervorgehoben werden. [78]

In einem aktuellen Artikel zum Thema „Ermittlung des Schwierigkeitsgrades einer Wurzelkanalbehandlung“ in Ausgabe 17/2021 der Fachzeitschrift „zm“ wird dieser „Isthmus-Befund“ sogar dem höchsten Schwierigkeitsgrad zugeordnet. [28]

Auch die mögliche Wurzelkanalaufteilung in der Tiefe, wie sie bei beiden ersten Prämolaren vorkommen kann, kann ebenfalls eine Herausforderung während des Aufbereitungsprozess bzw. ein Risiko für das Fortbestehen einer Infektion darstellen [28]. Neben den zuletzt genannten für erste Prämolare charakteristischen endodontische Herausforderungen, stellen sich innerhalb der endodontischen Therapie erster Prämolare natürlich auch noch die allgemeingültigen Herausforderungen einer Wurzelkanalbehandlung: Nur exemplarisch genannt seien hier Mehrfachkrümmungen innerhalb desselben Kanals, Wurzelkrümmungen von mehr als 30 Grad, stark erweiterte apikale Foramina, verlegter

Zugang des Wurzelkanals durch einen Pulpastein oder im tieferen Verlauf durch eine Obliteration, etc. [28].

Hiermit soll nur eine Auswahl der zahnbezogenen Befunde genannt sein, die erschwere Umstände darstellen können. Ferner können sich Schwierigkeiten innerhalb der Therapie infolge patientenindividueller Gegebenheiten (z.B. Würgereiz) oder infolge anderer Begleitdiagnosen (z.B. interne/externe Wurzelresorptionen) ergeben [28].

2.3 Methoden der Bewertung des Behandlungsergebnisses

Da im Allgemeinen die Prävention bzw. das Ausheilen einer apikalen Parodontitis und der langfristige funktionelle Erhalt des Zahns unter klinisch symptomfreiem Zustand als Ziel der endodontischen Behandlung publiziert wird [41], gibt es verschiedene Methoden das Ergebnis der jeweiligen Behandlung auf Erfolg oder Misserfolg zu überprüfen.

Zur Beurteilung des Erfolgs- oder Misserfolgs einer abgeschlossenen Wurzelkanalbehandlung stehen im Allgemeinen drei Methoden zur Verfügung.

2.3.1 Klinische Evaluation

Während das Vorliegen klinischer Symptomatik wie Schwellung, Fisteln oder Schmerzen nahezu eindeutige Anzeichen für das Vorliegen eines Misserfolgs darstellen, bedeutet das Fehlen pathologischer klinischer Symptomatik im Umkehrschluss nicht, dass von periapikaler Entzündungsfreiheit des Zahns ausgegangen werden kann: Chronische Läsionen können beispielsweise klinisch lange asymptomatisch bleiben, solange eine Balance zwischen den beteiligten Mikroorganismen und der körpereigenen Immunabwehr besteht. Durch den Einfluss eines Stimulus kann die Läsion in eine akute Phase übergehen. [26]

Die Bewertung des Vorliegens einer periapikalen Entzündung rein anhand der klinischen Symptomfreiheit, sollte deshalb als unsicher und risikoreich angesehen werden.

Dennoch wurden in der Vergangenheit klinisch beschwerdefreie, funktionstüchtig endodontisch behandelte Zähne als Erfolg gewertet, ungeachtet der zugehörigen röntgenologischen Befunde. [81]

2.3.2 Histopathologische Evaluation

Als Goldstandard der Bewertung der periapikalen Entzündung wird die histologische Untersuchung des periapikalen Gewebes angesehen:

Mehrere Autoren sind sich einig, dass nur im Rahmen dieser histopathologischen Untersuchung sich auf Zellebene feststellen lässt, ob es Entzündungszeichen im Bereich des

Periapex gibt. Sie erklären, dass nur anhand dieses Kriteriums eine eindeutige Diagnose, ob eine erfolgreiche, entzündungsfreie oder eine misserfolgreiche Wurzelkanalbehandlung mit Entzündungszeichen vorliegt, getroffen werden sollte. [82-85]

Auf Basis der Ergebnisse einer Studie aus 2010, schlussfolgern ihre Autoren, dass auch moderne röntgenologische Verfahren wie das DVT keine ähnlich zuverlässige Methode darstellen, diese Diagnose zu stellen [86].

Problematisch stellt sich für die Umsetzung im Rahmen des täglichen Praxisalltags dar, dass die Entnahme des periapikalen Gewebes mit Hilfe einer chirurgischen Biopsie notwendig wird. Von jedem fraglich miss-/ erfolgreichen Zahn eine Biopsie zu entnehmen, erscheint aus der praktischen Erfahrung heraus für den Patienten eine meist inakzeptable Forderung. In der Literatur wird sie deshalb als „[...] *unethisch* [...]“ [26] deklariert.

2.3.3 Röntgenologische Evaluation

Die Röntgenkontrolle ist die am häufigsten angewandte Methode der Bewertung [25] :

Die Qualität der Wurzelfüllung wird dabei insbesondere anhand der Länge und Dichte der Wurzelkanalfüllung bemessen. Die Breite des Parodontalspaltes im lateralen und apikalen Bereich werden mitbeurteilt. Auch die Lokalisation und Größe bzw. das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von Transluzenzen oder Opazitäten im periapikalen Bereich werden beurteilt. Insgesamt gilt es als Ziel, am ehesten mit Hilfe des Vergleichs einer röntgenologischen Verlaufskontrolle mit dem röntgenologischen Ausgangsbefund, jegliches Auftreten pathologischer Befunde (Transluzenzen oder Opazitäten) und deren Charakteristika wie Lokalisation und Größe zu erfassen. [26]

Die Bewertung des aktuellen röntgenologischen Befunds sollte dabei immer unter Zuhilfenahme des Ausgangsbefunds getroffen werden, sodass eine Verbesserungs- oder Verschlechterungstendenz im Vergleich zur Ausgangssituation bei der Bewertung berücksichtigt werden kann.

Der infolge einer Entzündung auftretende Mineralverlust im periradikulären Knochen kann röntgenologisch in Form einer Transluzenz sichtbar werden und auf eine in diesem Bereich ablaufende Entzündung hinweisen. Deshalb wird in der täglichen Praxis im Umkehrschluss das Nichtvorhandensein eines pathologischen Befunds im Röntgen gerne als Beweis für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung gewertet. Ein röntgenologischer Befund im Sinne einer Transluzenz im periapikalen Bereich bedeutet aber nicht immer, dass ein pathologischer Prozess vorliegen muss: Der Zustand einer narbigen Ausheilung des

periapikalen Gewebes im Zuge der Heilung einer zuvor bestehenden Entzündung bedeutet beispielsweise keine Pathologie. [26]

Weiterhin konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass es ein Problem in der unterschiedlichen diagnostischen Bewertung derselben Röntgenbilder durch verschiedene Betrachter gibt [87-89]:

Dieses Phänomen trägt in der Literatur den Namen „Interobserver Variability (IEV)“. In zu späterem Zeitpunkt durchgeführten Untersuchungen zu diesem Thema konnte gezeigt werden, dass verschiedene Faktoren wie beispielsweise ein vorheriges Kalibrieren der Bewertenden oder das Einführen definierter Bewertungskriterien, eine Reduktion dieser Diskrepanz zwischen den Beobachtern erzielen konnten. [88, 90, 91]

Ein Übungseffekt und fachlicher Austausch zwischen den Bewertenden konnten die Ergebnisse noch verbessern. [92-94]

Auch ein Zusammenhang zur Erfahrung und dem Tätigkeitsschwerpunkt des Bewertenden in der Endodontie konnte in einer Studie herausgearbeitet werden. Insgesamt wurden große periapikale Transluzenzen von allen Betrachtern aber übereinstimmender erkannt, als kleinere. [95]

Sogar innerhalb desselben Beobachters konnten mehrfach Diskrepanzen bei den Bewertungsergebnissen derselben Röntgenbilder nachgewiesen werden, als diese Bewertung zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfand. [89, 93, 96]

Verschiedene Studien sollten in der Vergangenheit die Vergleichbarkeit zwischen röntgenologischen und histologisch belegbaren Entzündungen herausarbeiten:

Eine Studie von Rowe und Binnie von 1974 an Beagles (Hunden) zu diesem Thema ergab: Immer, wenn röntgenologisch eine apikale Aufhellung festgestellt werden konnte, korrespondierte diese in 100% der Fälle histologisch mit einer leichten oder schweren Entzündung. Die röntgenologisch entzündungsfrei bewerteten Fälle, waren in 55% auch histologisch entzündungsfrei. [97]

Hier konnte also die relativ hohe Übereinstimmung röntgenologischer und histologischer Befunde herausgearbeitet werden.

Beim Menschen stellte sich dieses Verhältnis zwischen histologischen und röntgenologischen Befunden zum entzündungsfreien bzw. entzündeten periapikalen Zustand anders dar: In einer Untersuchung von Seltzer et al. von 1999 konnten bei Röntgenverlaufskontrollen nach 12, 18 und 30 Monaten histologisch immer Entzündungszeichen auf

Zellebene nachgewiesen werden, auch wenn das Röntgenbild der Verlaufskontrolle zum selben Zeitpunkt keinen sichtbaren Hinweis einer periradikulären Transluzenz zeigte. [98]

Auch Barthel et al. untersuchten 2004 insgesamt 53 Wurzeln sowohl histologisch als auch röntgenologisch auf deren Entzündungszustand: Dabei wurden 51% der untersuchten Wurzeln als entzündet und 49% als entzündungsfrei deklariert. Röntgenologisch wiesen 30% eine apikale Aufhellung auf, 17% zeigten einen erweiterten Parodontalspalt und 53% intakte periapikale Strukturen. Die Untersuchung traf die Aussage bezüglich der Vorhersagbarkeit einer Entzündung bei röntgenologischer Feststellung einer periapikalen Aufhellung, dass diese dann auch in 81% der Fälle histologisch bestätigt werden konnte. Umgekehrt konnte bei der röntgenologischen Feststellung intakter periapikaler Strukturen, nur in 67% der Fälle eine Entzündungsfreiheit auch histologisch festgestellt werden. Schlussfolgernd ließ sich also eine klare Beziehung zwischen der Feststellung einer röntgenologischen Transluzenz und der histologisch feststellbaren Entzündung des periapikalen Bereichs menschlicher endodontisch behandelter Zähne feststellen. In mehr als 30% der Fälle in denen histologisch Entzündungszeichen festgestellt werden konnten, wurde diese röntgenologisch jedoch nicht festgestellt. [99]

Da in den beiden zuvor zitierten Studien die histologische Feststellung von Entzündungszeichen auf Zellebene der röntgenologischen Feststellung überlegen war, lässt sich aus den Ergebnissen dieser Studien schlussfolgern, dass die histologische Untersuchung im unmittelbaren Vergleich eine sicherere Auskunft über das Vorliegen einer Entzündung am Periapex liefert als die röntgenologische Untersuchung. Damit könnte man sagen, dass die histopathologische Bewertung die Frage nach dem Erfolg oder Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung genauer beantworten kann. Dennoch ist über jede der zuvor genannten Varianten zu sagen, dass individuelle Vor- und Nachteile der Beurteilung bestehen, und sich daraus Grenzen der jeweiligen Beurteilbarkeit ergeben.

Innerhalb des klinischen Praxisalltags werden die Ergebnisse endodontischer Maßnahmen überwiegend aus der Kombination der klinisch und röntgenologisch feststellbaren Befunde festgestellt [26]. Die histologische Untersuchung bleibt am ehesten aus Gründen der „[...] Unethik [...]“ [26] und der „[...] Unpraktikabilität [...]“ [26] eher dem Einzelfall vorbehalten.

2.4 Radiologische Diagnostik in der Endodontie

Obwohl die röntgenologische Beurteilung der histologischen Untersuchung in ihrer Aus-sagesicherheit nachsteht, stellt sie im Rahmen des klinischen Alltags doch die Methode dar, die in Kombination mit der klinischen Diagnostik, am häufigsten zur Therapieent-scheidung der endodontischen Behandlung einfließt. [25]

Da die in der Endodontie zu behandelnden Strukturen in der Regel von Zahnhartsubstanz und den Strukturen des Zahnhalteapparats bedeckt sind, werden die bildgebenden Ver-fahren dazu genutzt sowohl das Endodont als auch die periapikalen Strukturen darzustel-len und zu beurteilen:

Die „Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung“ der European Society of Endodon-tology aus 2006 empfehlen für zweidimensionale Einzelaufnahmen zur präoperativen und postoperativen Bewertung, dass „[...] *mindestens die gesamte(n) Wurzel(n) und unge-fähr 2-3mm des periapikalen Bereichs [...]*“ [25] dargestellt werden sollen. [25]

Im Rahmen des endodontischen Behandlungsprozesses hat sich die Anfertigung mehre-erer Zahnfilme in einer definierten Reihenfolge als Goldstandard etabliert: Zu Beginn der Behandlung kann die Diagnoseaufnahme einen ersten Eindruck zur groben Anatomie des betreffenden Zahns, zu seiner Form, der Länge und der Anzahl der Wurzeln vermitteln. Auch Informationen wie die Anzahl der Wurzelkanäle oder mögliche ursächliche Krank-heitsprozesse der Pulpa oder der periapikalen Strukturen können diesem Röntgenbild entnommen werden.

Bei der Röntgenmessaufnahme kann mit Hilfe der zweidimensionalen, röntgenologischen Darstellung eines eingeführten Handinstruments eine zuvor beispielsweise elektromet-risch ermittelte Arbeitslänge veranschaulicht werden.

Später, zur Kontrolle der Länge des verschließenden Guttaperchastifts, dem sogenannten Masterpoint, kommt die Masterpointaufnahme zum Einsatz.

Als Kontrolle nach durchgeführter Wurzelfüllung wird in der Regel eine gleichnamige Aufnahme durchgeführt. Aber auch zu späteren Zeitpunkten, zur Verlaufskontrolle und Erfolgsbeurteilung, wird auf die zweidimensionale, röntgenologische Diagnostik zusätz-lich zur klinischen Diagnostik zurückgegriffen. Die Anwendung von intraoralen Zahnfil-men nimmt im endodontischen Behandlungsablauf also einen großen Stellenwert ein.

Insgesamt stehen dem Behandler aber mehrere Aufnahmetechniken im klinischen Alltag zur Verfügung: Neben den Einzelzahnfilmen, haben sich sowohl Panoramaschichtaufnah-men (OPG/OPTG) als auch in speziellen Fällen moderne dreidimensionale Aufnahmen

wie das digitale Volumentomogramm (DVT) zur Beurteilung des Vorhandenseins periapikaler Läsionen bewährt. [100]

Ob die zuvor genannten, verschiedenen Röntgenverfahren zur Klärung derselben Fragestellung gleichermaßen geeignet sind oder ob manche Verfahren zur Detektion apikaler Läsionen besser bzw. schlechter geeignet sind, ist ein Thema, mit dem sich mehrere Studien befasst haben. [40, 101-105]

Infolge des Anfertigungsprozess und der Art der Technik, die einer Panoramaschichtaufnahme zugrunde liegt, ergeben sich einige Vor- und Nachteile im Vergleich zur Einzelaufnahme oder dem DVT:

Mit der Darstellung aller Zähne, bildet das OPTG (Orthopantomogramm) zusätzlich die knöchernen Strukturen des Kausystems, den Ober- und Unterkiefer und weitere anatomische Strukturen wie die Kieferhöhlen und die Kiefergelenke ab. So können gleichzeitig asymptotische, aber pathologische Strukturen röntgenologisch dargestellt und als Befund identifiziert werden.

Zur vergleichbaren, vollständigen Darstellung aller Zähne des bleibenden Gebisses beim vollbezahnten, jugendlichen oder erwachsenen Patienten wären 14 Einzelzahnfilme notwendig [100].

Im Anfertigungsprozess des OPTG ergibt sich dafür eine deutliche Zeitersparnis. [106]

Außerdem erfolgt insgesamt eine mögliche niedrigere Strahlenbelastung des Kopf-Hals-Bereichs eines Patienten bei einer Panoramaschichtaufnahme im Vergleich zur Darstellung des vergleichbaren dentalen Übersichtsgebiet mit Hilfe der Anfertigung mehrerer analoger Einzelzahnfilme, zumindest wenn die Zahnfilme mittels analoger und nicht digitaler Technik angefertigt würden. [107]

Im Vergleich zur analogen Verfahrenstechnik konnte die Einführung der digitalen Bildverarbeitung bisher aber insgesamt eher zur Minimierung der Strahlenbelastung beitragen, aber nicht nur zur Verbesserung der allgemeinen Bildqualität. [100, 107]

Das OPTG bildet eine dreidimensionale Struktur auf einer zweidimensionalen Abbildung ab. Infolge des Aufnahmeverfahrens der PSA kommt es deshalb zu Überlagerungen in derselben Schicht gelegener verschiedener Strukturen unterschiedlicher Dicke und Dichte: Es kommt zu sogenannten Summationseffekten. [100]

Überlagern sich also knöcherne Anteile beispielsweise mit luftgefüllten Räumen oder mit Weichgewebe, können sich scheinbare Dichteunterschiede des Knochens darstellen. Diese könnten falsch interpretiert werden.

Infolge des Strahlengangs müssen außerdem Objektdoppeldarstellungen berücksichtigt werden, durch die sich in manchen Bereichen ein Verlust von diagnostisch auswertbaren Bildanteilen ergeben kann. Auch Gerätefehler oder fehlerhafte Anwendung zum Beispiel im Sinne falscher Justierung des Patientenkopfs im Strahlengang, können zu Einbußen an Detailschärfe führen. Da sich die oben genannten Effekte nicht gänzlich vermeiden lassen, schützt ihre Kenntnis vor fehlerhafter Interpretation oder dem Stellen falscher (pathologischer) Diagnosen. [31, 108]

In der Studie von Ahlqwist et al. zur Mundgesundheit wurde die Fähigkeit von Panoramaschichtaufnahmen Informationen über den Status der Mundhöhle zu liefern im Vergleich zu intraoralen Röntgenaufnahmen untersucht: Die Feststellbarkeit osteolytischer Prozesse wurde hier für PSAs als „[...] gut [...]“ [101] deklariert, da die Übereinstimmung an einwurzligen Zähnen bei 76% und die an mehrwurzligen Zähnen sogar bei 90% lag. Panoramaschichtaufnahmen wurden deshalb in dieser Studie, mit Ausnahme der Diagnostik kariöser Läsionen, als nützliches Werkzeug zur Erhebung der Mundgesundheit in epidemiologischen Studien erklärt. [101]

Molander et al. schlussfolgerten in ihrer Untersuchung zum Vergleich von Panorama- und intraoraler Radiographie zur Diagnose von Karies und periapikaler Pathologie, dass die Panorama- und die intraorale Radiographie als diagnostische Hilfsmittel zum Nachweis periapikaler Läsionen gleich gut funktionieren: Die Übereinstimmung mit intraoralen Röntgenaufnahmen für periapikale osteolytische Läsionen variierte je nach Zahntyp und Läsionsgröße. [109]

Auch Nardi et al. erklärten in einer aktuellen Studie aus dem Jahr 2018 die Panoramaschichtaufnahme zur Erkennung einer klinisch/chirurgisch bestätigten apikalen Parodontitis bei wurzelkanalbehandelten Zähnen als Methode mit „[...] gute[r] diagnostischer Genauigkeit [...]“ [104] und „[...] hohe[r] Spezifität [...]“ [104]: Hier konzentrierte sich der Bereich der besten Identifikation der apikalen Parodontitis sogar unter anderem auf den Bereich der unteren Prämolaren. [104]

Dagegen kamen andere Autoren zu dem Ergebnis, dass die Genauigkeit der periapikalen Röntgenaufnahmen zur Identifikation oder dem Ausschluss einer apikalen Parodontitis deutlich höher sei als bei Panoramaschichtaufnahmen. [40]

Besonders bei Läsionen an Oberkiefer-Prämolaren konnten Rohlin et al. feststellen, dass die periapikale Röntgeneinzelaufnahme diagnostisch signifikant überlegen war. Auch für

die Identifikation osteolytischer Läsionen an Unterkiefer-Prämolaren, schienen Einzelaufnahmen überlegen. [110]

Einige, wenige Studien sagen, dass moderne Verfahren wie das Digitale Volumentomogramm noch genauer als konventionelle röntgenologische Techniken in der Lage sind apikale Parodontitis zu detektieren. [40, 105, 111]

Das könnte man darin begründet sehen, dass mittels DVT möglich ist, die dreidimensionale Ansicht des interessierenden Bereichs darzustellen, wodurch man fehlende Kanäle identifizieren könnte [112] und jede Wurzel eines mehrwurzligen Zahns einzeln hinsichtlich eines eigenen apikalen Befunds zu beurteilen [111]. Das DVT kann zum Beispiel besonders als wertvolle Therapieergänzung für Patienten mit anhaltenden klinischen Symptomen, für die keine Diagnose anhand konventioneller zweidimensionaler Röntgentechnik gestellt werden kann, hervorgehoben werden [113]. Eine andere Studie berichtet dagegen vom Risiko des Überbewertens: Während nicht wurzelgefüllte Zähne mit sehr hoher diagnostischer Genauigkeit befundet werden konnten, besteht bei bereits wurzelgefüllten Zähnen das „[...]Risiko einer Überdiagnose [...]“ [114] mittels DVT. [114]

Die Nachteile der Anwendung des DVTs wie die höhere Strahlendosis, die privat anfallenden Kosten für den Patienten und mögliche entstehende Bildartefakte gelten als mitursächlich, weshalb das DVT derzeit nicht als primäre röntgenologische Bildgebung Einsatz findet. [115]

Wahrscheinlich werden erst weitere Studien, die den Einsatz des DVT und auch mehrjährige Kontrollen beinhalten, zukünftig zeigen, zu welchen Zeitpunkten und mit welchen Fragestellungen der Einsatz des DVT in der Diagnostik der apikalen Parodontitis sinnvoll ist. [6]

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass der Zahnfilm dem OPTG zur Detektion apikaler Beherdungen nicht generell überlegen ist. Dennoch zeichnet sich der Einzelzahnfilm immer noch als diagnostischer Goldstandard ab, vor allem während der Durchführung praktischer endodontischer Maßnahmen.

Mit dem Wissen um die Vorteile, aber auch die Einschränkungen der Panoramaschichtaufnahmen lässt sich unter Berücksichtigung der Lokalisation des betreffenden Zahns eine statistisch gute bis sehr gute diagnostische Bewertung hinsichtlich pathologischer Befunde treffen [101].

Vor diesem Hintergrund lässt sich rechtfertigen, dass auch für die Anfertigung dieser Dissertation Panoramaschichtaufnahmen zur nachträglichen Evaluation des Vorliegens

einer Parodontitis apicalis nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung an ersten Prämolaren des Ober- und Unterkiefers neben der Bewertung von Einzelzahnfilmen mit einbezogen wurden.

Röntgenologisch gewonnene Informationen sollten dabei immer nur unter der Berücksichtigung der klinisch erhobenen Parameter zur Therapie beitragen.

2.5 Bisherige Erfolgs- & Misserfolgsdefinitionen endodontischer Behandlungen in der Literatur

Die Prävention des Entstehens einer apikalen Parodontitis oder auch das Ausheilen einer bereits bestehenden Parodontitis apicalis, sowie der langfristige funktionelle Erhalt des Zahns bei symptomfreiem Zustand, gelten als Ziel einer jeden endodontischen Behandlung [41].

Auf der Basis der Formulierung dieses Ziels kann eine langfristige Ergebnisbewertung einer endodontischen Behandlung als „erfolgreich“ oder „misserfolgreich“ stattfinden. Das Kriterium der Erfolgsbewertung ist dabei die Überwachung der Heilung bzw. Entwicklung einer apikalen Parodontitis im periradikulären Gewebe. [88]

Um die Heilung bzw. Entwicklung einer apikalen Parodontitis im periradikulären Gewebe zu überwachen, hat sich die röntgenologische Bildgebung in einigen bereits zu diesem Thema durchgeführten Studien als international standardisiertes Verfahren zur objektiven Bewertung des Erfolgs oder Misserfolgs bewährt [90, 116].

Im Vergleich zum Kriterium des klinischen Symptomaufkommens, kann dieses Verfahren dem objektiveren Vergleich der Erfolgsbewertung zwischen den Einzelfällen dienen.

Ørstavik et al. (1986) entwickelten einen röntgenologisch basierten Index zu fünf Kategorien, der die Zuordnung des Zustands der periapikalen Region in fünf verschiedene Stadien ermöglicht: Der Index trägt den Namen „periapical index“ (= PAI) und definiert fünf Kategorien von Grad 1 (= gesundes periapikales Gewebe) bis Grad 5 (= schwere Parodontitis mit Exacerbation) [117]. Dieser Index stellt eine vereinfachte Version einer bereits bekannten Interpretation von Brynolf aus dem Jahr 1967 dar [117, 118].

Der PAI ermöglicht einen Pool aus ähnlichen Fällen in Unterkategorien zu unterscheiden und so für statistische Auswertungen besser erfassbar zu machen. Deshalb erscheint er für die Bewertung periapikaler Röntgenaufnahmen beispielsweise innerhalb klinischer oder epidemiologischer Studien geeignet. [117]

Laut den Qualitätsrichtlinien der European Society of Endodontology aus dem Jahr 2006 gilt eine Wurzelkanalbehandlung als erfolgreich, wenn neben einem röntgenologischen Nachweis über die normale Breite des Parodontalspalts, klinisch keine Schwellung und keine Schmerzen, kein Fistelgang oder andere Symptome vorliegen und der Zahn außerdem seine Funktion erfüllt. [25]

Im Umkehrschluss gilt laut den Qualitätsrichtlinien eine Wurzelbehandlung als „nicht erfolgreich“, wenn klinisch Symptome einer Infektion vorliegen, oder wenn röntgenologisch eine Beherdung neu aufgetreten ist oder eine zu Beginn der Wurzelkanalbehandlung bereits bestehende Beherdung weiter an Größe zugenommen hat. Auch wird als Misserfolg definiert, wenn eine zu Beginn bestehende Beherdung innerhalb eines Beobachtungszeitraums von vier Jahren ihre Größe beibehalten oder sich nur verkleinert hat. Dasselbe gilt, wenn röntgenologisch Anzeichen für Wurzelresorptionen bzw. deren Voranschreiten festgestellt werden können. [25]

Die DGZMK definiert dagegen zusammenfassend drei Kategorien als Grundlage für die Zuordnung von Erfolg oder Misserfolg folgendermaßen [119]:

„Vollständige Heilung“

- klinische Symptomfreiheit und
- radiologisch durchgehend verfolgbare Parodontalspalt normaler Breite (d.h. radiologisch als knöchern beurteilte Regeneration endodontisch bedingter Läsionen und, falls gegeben, Stillstand ehemals progressiver Resorptionen).

„Unvollständige Heilung“

- klinische Symptomfreiheit und
- radiologisch verifizierbare Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion.

„Keine Heilung“

- klinische Symptome einer endodontisch bedingten Parodontitis und/oder
- radiologisch nicht nachweisbare Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion, gegebenenfalls auch Neubildung einer periradikulären Läsion und/oder
- radiologisch erfassbare, externe progressive Resorptionen.

[119]

Zur Erfolgsbewertung werden sowohl von der DGZMK als auch von der European Society of Endodontology klinische und röntgenologische Nachuntersuchungen in regelmäßigen Abständen, und bei unvollständiger Heilung bis zu vier [25] oder fünf [119] Jahren postoperativ, empfohlen.

Dabei soll am ehesten der Befund der Kontrollaufnahme nach der Wurzelfüllung mit dem der letzten postoperativen Röntgenverlaufskontrolle verglichen werden, um das Behandlungsergebnis zu bewerten. [119]

Ist die Beherdung bis zu diesem Zeitpunkt nicht vollständig ausgeheilt, wird eine erneute Wurzelkanalbehandlung als Folgebehandlung nahegelegt, gegebenenfalls auch in Kombination mit einer chirurgischen Wurzelspitzenresektion. In Ausnahmefällen kann im Ausheilungsprozess einer ursprünglich röntgenologisch sichtbaren Beherdung, ein unregelmäßig mineralisierter Bereich periradikulär in der Röntgenverlaufskontrolle zurückbleiben: Hier handelt es sich dann am ehesten um die Bildung von Narbengewebe, sodass in diesen Fällen nicht eine erneute Wurzelkanalbehandlung, sondern weitere Verlaufskontrollen empfohlen werden. [25]

Im Umkehrschluss bedeutet das Fehlen von röntgenologisch sichtbaren Entzündungszeichen für diese beiden Quellen nicht zwingend einen sicheren Therapieerfolg [25, 119]. Dennoch sollte angemerkt werden, dass auch ursprünglich positiv befundete Verlaufskontrollen über eine erneute Infektion umgekehrt, also „misserfolgreich“ werden können: In diesem Zusammenhang werden exemplarisch sowohl „[...] koronale Leckage [...]“ [25] oder „[...] sich ausbreitende marginale Parodontitis [...]“ [25] als mögliche Ursachen genannt.

In der wissenschaftlichen Stellungnahme der DGZMK wird geschlussfolgert, dass „*Im Schrifttum [...] mehrheitlich Zähne mit vollständiger Heilung als „Erfolg“ gewertet.*“ [119] werden. Das bedeutet, im Umkehrschluss, dass Zähne, die klinisch symptomfrei sind und deren Verlaufskontrolle eine röntgenologisch verifizierbare Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion aufweisen, zwar zu der Kategorie der „unvollständigen Heilung“ gezählt werden, aber genau wie die Kategorie „keine Heilung“ (mit klinischen Symptomen und/oder röntgenologisch nicht nachweisbarer Verkleinerung oder sogar Neubildung oder progressive Läsion) abschließend als Misserfolg gewertet werden. [119]

Friedman und Mor stoßen in ihrem Review aus dem Jahr 2004 ein Umdenken in der Bemessung des Erfolgs endodontischer Behandlungen an: Sie unterscheiden je nach individuellem Anspruch des Patienten zwischen Heilung bzw. Vorbeugung einer apikalen

Parodontitis oder dem rein funktionellen Erhalt des Zahns als Bemessungsgrundlage des Erfolgs. In dieser Studie stellen sie auch dar, wie sehr die Erfolgsprognose je nach Bemessungsgrundlage abweichen kann [120]. Auch andere Autoren legen ihren Studien diese alternative Definition des Erfolgs zugrunde [121-124].

Andreas C. Schmalbruch fasst in seiner Dissertation diesen Ansatz folgendermaßen zusammen: „So erscheint es durchaus als plausibel, von einem Behandlungserfolg zu sprechen, wenn ein endodontisch behandelter Zahn noch funktionell belastbar ist und keine klinischen Symptome zeigt, anstatt andernfalls einer Extraktion zum Opfer zu fallen.“ [125]

Auch andere Autoren berichten über die verbesserte Lebensqualität der Patienten infolge des Behebens des präendodontischen Beschwerdebilds: Die überwiegende Mehrheit der Probanden (97,1 %) einer Studie gab an, mit ihrer Entscheidung für eine endodontische Behandlung, anstelle einer Extraktion, zufrieden zu sein. [126]

So lässt sich schlussfolgern, dass der betroffene Patient nicht erst vom funktionellen Erhalt des Zahns als Bestandteil seines Kausystems profitiert, sondern bereits durch das Loswerden seiner klinischen Beschwerden. Auch der Faktor einen chirurgischen Eingriff vermieden zu haben, scheint hier eine Rolle zu spielen.

2.6 Einflussfaktoren des Erfolgs oder Misserfolgs einer Wurzelkanalbehandlung

Bei den prognostisch relevanten Faktoren für einen Erfolg oder Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung, lässt sich eine Einteilung nach dem Zeitpunkt ihres Auftretens innerhalb der Behandlung durchführen: Man unterscheidet prä-, intra- und postoperative prognostische Einflussfaktoren. Streng genommen lassen sich hierbei sogar die prognostisch günstigen Faktoren für die periapikale Heilung von den prognostisch relevanten Faktoren für das Gesamtergebnis der Wurzelkanalbehandlung abgrenzen. Das Zusammenspiel all dieser Faktoren entscheidet über die Erfolgswahrscheinlichkeit der Wurzelkanalbehandlung. Im Idealfall kann die Relevanz dieser Einflussfaktoren vom Behandler vorweg eingeschätzt werden und eine Prognose der Erfolgswahrscheinlichkeit für den individuellen Fall des Patienten abgegeben werden, bevor die Behandlung beginnt. [6]

2.6.1 Präoperative prognostische Einflussfaktoren

Als wichtigster prognostisch relevanter Faktor zum Zeitpunkt vor der Durchführung der endodontischen Behandlung erweist sich in mehreren Studien der präoperative

röntgenologisch ermittelte Beherdungsgrad (auf Basis des PAI nach Ørstavik 1986) des Zahns. [127-129]

Die Ergebnisse einiger Studien zeigen, dass die Heilungsraten je nach Ausgangssituation des präendodontischen Beherdungsgrads deutlich divergieren können:

Die Heilungsrate (insgesamt bei 81%) bei Zähnen, deren periapikale Region zu Beginn der Behandlung beherdungsfrei eingestuft wurde, lag mit 92% signifikant höher, als bei Zähnen mit einer apikalen Parodontitis (74%) [127].

2011 wurde in einer weiteren Studie bestätigt, dass die Behandlungsprognose umso günstiger ist, je geringer die Größe der periapikalen Läsion zu Beginn der Behandlung ist. Als weiterer präoperativ relevanter Faktor wird in dieser Studie der präoperative pulpale Status (vital, nekrotisch) genannt, dieser habe aber einen weniger dominanten Einfluss auf die periapikale Heilung als der periapikale Zustand vor der Behandlung. [128]

Ebenso tragen die präoperativ gewählten, in der Untersuchung erhobenen Parameter wie der gewählte Kontrollzeitraum und die kleinste gewählte Untersuchungseinheit zur Beeinflussung des Ergebnisses bei [6]:

Dass der gewählte Kontrollzeitraum durch die DGZMK und die European Society of Endodontology (ESE) auf 4 bis 5 Jahre angesetzt wurde, kann damit zusammenhängen, dass die vollständige Heilung einer präoperativ sichtbaren Parodontitis apicalis in einigen Fällen bis zu vier Jahre dauerte, während nach einem Jahr bei mindestens 89% aller heilenden Wurzeln Anzeichen einer beginnenden, aber unvollständigen Heilung sichtbar waren. [25, 119, 130]

Da die gewählte kleinste Untersuchungseinheit ebenso einen ausschlaggebenden Parameter für das numerische Ergebnis des Erfolgs darstellt, gilt dies auch für die korrekte Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen: Wird die Einheit „pro Wurzel“ gewählt, werden mehrwurzlige Zähne, die an einer von drei Wurzeln eine Beherdung aufweisen, numerisch beispielsweise zu 2/3 zu einem Erfolg und zu 1/3 zu einem Misserfolg beitragen. Während mit dem Vorliegen einer einzigen beherdeten Wurzel und der gewählten Einheit „Zahn“ der ganze Zahn als Misserfolg zu werten ist. Gleichzeitig führt die Beherdungsfreiheit eines einwurzligen Zahns numerisch zum gleichen Erfolg wie die Beherdungsfreiheit aller Wurzeln eines mehrwurzligen Zahns, auch wenn bei einem zahnbezogenen Misserfolg 2/3 der behandelten Wurzeln theoretisch als erfolgreich zu bewerten wären. Zusammenfassend kann sich für die Maßeinheit „Zahn“ also eine nachteiligere Bilanz ergeben als für die Maßeinheit „pro Wurzel“, obwohl für beide Bewertungen dasselbe

Populationsspektrum zugrunde liegt. Die angewandten Methoden zur Bestimmung der Prognose von WKB, als Voraussage oder Vorhersage eines zukünftigen Ereignisses oder einer Entwicklung (z.B. Heilung oder Entstehung einer periapikalen Parodontitis), sollten demnach kritisch gewürdigt werden. [6, 119]

Weiterhin stellt sich als entscheidender Einflussfaktor dar, in welchem Allgemeinzustand der Patient oder auch der Zahn in die endodontische Behandlung eintritt: Ein junges Patientenalter bei abgeschlossenem endodontischen Eingriff, gilt für die Überlebensrate als signifikant positiv prognostischer Faktor [131]. Eine weitere Studie bestätigt dies indirekt indem geschlussfolgert wird, dass mit ansteigendem Alter des Patienten, die Verlustraten steigen [132]. Dieser signifikante, altersbezogene Einfluss konnte ebenso von Imura et al. 2007 herausgearbeitet werden; hier wurde eine höhere Heilungsrate für die Altersgruppen der 50- bis 59-Jährigen beobachtet, als für die anderen Altersgruppen [133]. Dieselbe Studie hat auch zum Ergebnis, dass der Zahntyp für den Heilungserfolg eine Rolle spielt: Speziell Prämolare und Frontzähne zeigten hier eine signifikant höheren Heilungsrate als Molare [133]. Die Ergebnisse der Studie von Cheung & Chan aus 2003 untermauern dieses Ergebnis: Bezüglich der Prämolaren wird die signifikant längere Überlebenszeit aber nur für diejenigen des Unterkiefers beobachtet [129].

Die Ergebnisse von Dammaschke et al. lassen dagegen keinen statistisch signifikanten Einfluss durch den Zahntyp feststellen. Dasselbe gilt hier für die Lage des Zahns im Ober- oder Unterkiefer, das Geschlecht des Patienten und sogar die Anzahl der Wurzelkanäle. [132]

Aufgrund der Wechselwirkungen der Pulpa mit dem umliegenden Parodont über diverse anatomisch bedingte Interaktionswege, können auch parodontale Erkrankungen des Patienten Einfluss auf die Prognose der Wurzelkanalbehandlung nehmen:

Bakterien bakterieller Plaque können über die Wege seitlicher Kanäle auf exponierten Wurzeloberflächen pathologische Veränderungen im gesunden Pulpagewebe induzieren. Genau wie dies in umgekehrter Richtung funktioniert, wenn eine endodontische Infektion vorliegt, die sich ins umliegende parodontale Gewebe ausbreitet. [134]

Man unterscheidet diese Läsionen nach ihrer Ursache: Primär parodontale Läsionen, primär endodontische Läsionen oder deren Kombination. Deren Zusammenhang und die jeweils erforderliche Therapie, wurde 1972 von Simon, Glick und Frank formuliert und hat seither Gültigkeit behalten [135].

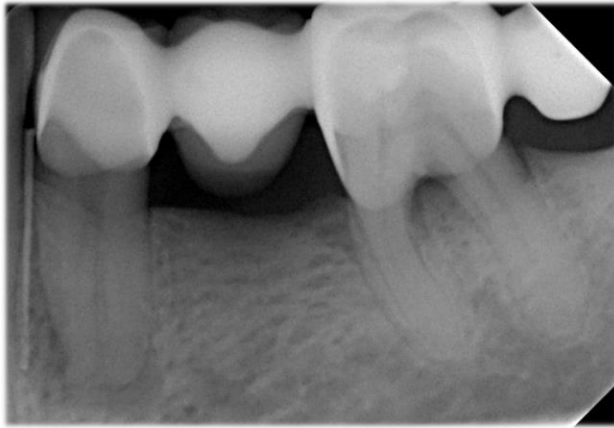


Abbildung 7: Beispiel einer Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, Einzelzahnfilm, Diagnoseaufnahme mit Guttapercha zur Darstellung des Fistelgangs

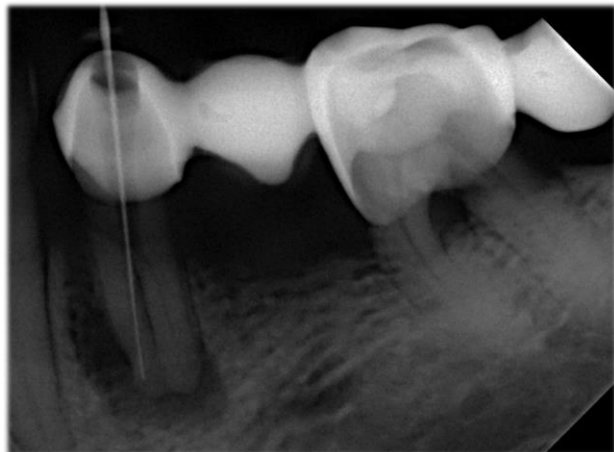


Abbildung 8: Beispiel einer Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, Einzelzahnfilm, Messaufnahme, 9 Tage nach zuvor angefertigter Messaufnahme

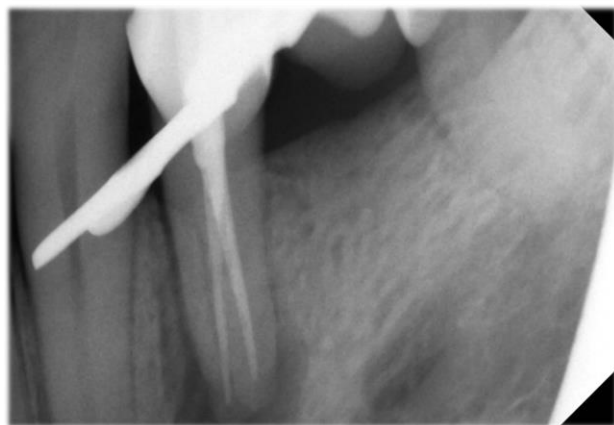


Abbildung 9: Beispiel einer Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, Einzelzahnfilm, Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung, ca. ein Monat nach Trepanation



Abbildung 10: Beispiel des Zustands nach Paro-Endo-Läsion an Zahn 34, OPG, Röntgenverlaufskontrolle vier Jahre nach Wurzelfüllung

Leidet der Patient zum Zeitpunkt des Eintritts in die Wurzelkanalbehandlung an einer sogenannten primären Parodontitis, deren Folge die sekundäre endodontische Beteiligung wurde, oder liegt bereits eine sogenannte „echte kombinierte parodontale-endodontische Läsion“ vor, ist die erforderliche endodontische Therapie meist mit einer eher ungünstigen Prognose verbunden [6]. Vor allem, wenn die Parodontitis nach der endodontischen Therapie unbehandelt zurückbleibt, ist die Prognose der Wurzelkanalbehandlung als eher ungünstig zu werten [136]. Zähne, die als Folge einer Parodontitis nekrotisch geworden sind, sind zwar sehr selten, müssen aber normalerweise extrahiert werden [137]. Die Prognose dieser Situation hängt maßgeblich von der Wirksamkeit der Parodontaltherapie ab, nachdem die endodontische Therapie durchgeführt wurde [135].

Um die Überlebensfähigkeit des Zahns prognostisch schon zum Zeitpunkt der Trepanation positiv zu beeinflussen, hat sich die Annahme etabliert, durch die Präparation einer minimalen Zugangskavität und des maximalen Erhalts des Pulpenkammerdachs bei der Zugangspräparation die Frakturanfälligkeit der Zähne nach einer Wurzelkanalbehandlung auf ein Minimum zu reduzieren. Mit der minimalen Weite der Zugangskavität, können sich für die Darstellung des Pulpenkavums mit den Kanaleingängen, sowie den anschließenden chemomechanischen Aufbereitungsprozess und die Durchführung der Wurzelfüllung für den Behandler beispielsweise infolge schlechter Sicht einige Schwierigkeiten ergeben, die sich möglicherweise auf das Behandlungsergebnis auswirken können. Dass der minimal-invasive Zugang zur Frakturresistenz beiträgt und infolgedessen die Überlebensfähigkeit prognostisch zum Positiven beeinflusst, konnte kaum bewiesen werden. [138]

Die minimalinvasive Gestaltung von Zugangskavitäten sind eher als Risiko für das Ergebnis der endodontischen Behandlung einzustufen, als zu deren Nutzen. [139]

Um den Erfolg der Behandlung schon ab dem Zeitpunkt der Trepanation positiv prognostisch zu unterstützen, sollte das Erstreben des Behandlers die allgemeine Infektionskontrolle beziehungsweise das Verhindern einer erneuten Infektion des Wurzelkanalsystems innerhalb der Behandlung sein. Dies kann erreicht werden, indem das Operationsfeld mit einem gutsitzenden Kofferdam vor Beginn der Behandlung isoliert wird. [140]

Lin et al. konnten 2014 in Ihrer Studie zur Auswirkung der Verwendung eines Kofferdams innerhalb der primären endodontischen Behandlung auf das Überleben der behandelten Zähne nachweisen, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit der Zähne, die mit Kofferdam behandelt wurde nach der mittleren Beobachtungszeit von 3,43 Jahren signifikant höher

ausfiel als für diejenigen ohne Verwendung von Kofferdam. Umgekehrt fiel der Vergleich der Gefährdungsfunktion der Zahnextraktion für Zähne deren Behandlung unter Verwendung von Kofferdam stattgefunden hat signifikant niedriger aus als für Zähne ohne Verwendung von Kofferdam. Demnach schlussfolgern die Autoren, dass die Verwendung von Kofferdam die Ergebnisse endodontischer Behandlung verbessern [141].

I.A. Ahmad fasst in seinem Artikel aus 2009 für das „International Endodontic Journal“ zusammen, dass es trotz dieser Erkenntnisse in der täglichen klinischen Behandlung an konsequentem Einsatz des Kofferdams mangelt: In diesem Zusammenhang werden Bedenken bezüglich des für die Anwendung notwendigen Zeitaufwands, der Patientenakzeptanz und auch der Kosten der Materialien und der Anwendungsschwierigkeiten genannt [140], obwohl sich neben der Infektionsvermeidung weitere Vorteile wie der Schutz des Patienten im Vermeiden des Verschluckens oder der Aspiration der Behandlungsinstrumente ergeben. [140, 141]

2.6.2 Intraoperative prognostische Einflussfaktoren

Intraoperativ spielt der individuelle Schwierigkeitsgrad der Wurzelkanalbehandlung eine ausschlaggebende Rolle: Vor Beginn der Therapie gilt es die patientenindividuelle Schwierigkeiten des Einzelfalls abzuwägen: Die Größe der Mundöffnung, erhöhter Würgereiz oder Hypermobilität der Zunge, oder auch der Umgang mit bereits erlebten schmerzhaften Erfahrungen oder auch gesundheitliche Aspekte wie der allgemeine psychische und physische Gesundheitszustand des Patienten oder Allergien und Unverträglichkeiten können dazu führen, dass der gängige Behandlungsablauf nicht eingehalten werden kann. [28]

Auch sollte vor Beginn der Behandlung geprüft werden, ob der Zerstörungsgrad der Zahnkrone einen dauerhaften aseptischen Zugang realisieren lässt, sei es unter der Voraussetzung der Durchführbarkeit einer zuvor angefertigten suffizienten, bakteriendichten Aufbaufüllung. [28]

In diesem Zusammenhang sollte also ebenso die Herausforderung der Komplexität der Wurzelkanalanatomie genannt werden:

Jeder Kanal kann gewisse Prädilektionsstellen wie Kanalkrümmung(en), komplexe innere anatomische Variationen wie c-förmige oder ovale Aufweitungen, Isthmen, Aufteilungen oder Verzweigungen, bergen, die ein höheres Maß an Schwierigkeit für das Erreichen der chemomechanischen Präparation beziehungsweise das Zurückbleiben unpräparierter Wurzelkanaloberflächen bedeuten [142]. Innerhalb der Behandlung spielt die Anatomie

des Wurzelkanals im Sinne des Radius der Krümmung und der Anzahl der Krümmungen eine entscheidende Rolle für die Schwierigkeit der Behandlung [28].

Die Anzahl der aufzubereitenden Wurzelkanäle spielt für den Schwierigkeitsgrad der klinischen Durchführbarkeit eine wichtige Rolle: Herausforderungen wie das Auffinden aller Kanaleingänge trotz möglicher untypischer Lokalisation, das Erreichen der Zugänglichkeit aller Kanäle und das Lösen von Obliterationen wie auch die suffiziente chemomechanische Aufbereitung jedes einzelnen Kanals und das vollständige Erreichen des Kanalsystems spielt für die spätere periapikale Heilung und den langfristigen Erfolg der Wurzelkanalbehandlung eine maßgebliche Rolle [6]. Die chemomechanische Aufbereitung hat als ideales Ziel die vollständige mechanische Entfernung des noch vitalen, aber auch bereits nekrotischen pulpalen Gewebes und die vollständige Desinfektion zur Eliminierung der Mikroorganismen. Außerdem die gezielte Formung der einzelnen Kanäle, damit das Wurzelkanalsystem bis nach apikal gereinigt und anschließend gefüllt werden kann [25]. Wenn nach dem chemomechanischen Verfahren Bakterien und nekrotisches Gewebe als Nährmedium zurückbleiben, besteht ein erhöhtes Risiko für das Entstehen einer apikalen Parodontitis nach der Behandlung [142].

Der heutige Stand der Technik mechanischer Aufbereitung entspricht speziell entwickelter, maschinell betriebener Nickel-Titan-Feilen, die es ermöglichen flexibler und widerstandsfähiger gegen zyklische Ermüdung zu sein [143]. Diese Feilen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Konus, der Schneide und ihrer rotierenden Bewegung. Insgesamt verleiht die Verwendung rotierender Nickel-Titan-Instrumente der Wurzelkanalaufbereitung eine neue Qualität [144]. Das rein mechanische Debridement führt zur nicht ausreichenden Eliminierung der Mikroorganismen, weshalb der zusätzlichen Anwendung desinfizierender Spüllösungen, also dem chemomechanischen Debridement, der Vorzug zugunsten der Prognose der Behandlung gegeben werden sollte [145]. Wechselspülungen aus Natriumhypochlorit (NaOCl) und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) haben sich in der Wurzelkanal-desinfektion als gebräuchliche Spüllösungen etabliert. Aber auch Chlorhexidin (CHX) wird häufig zur zusätzlichen Spülung angewendet. Natriumhypochlorit wird dabei hauptsächlich angewendet, um das Mikrobiom effektiv abzutöten, aber auch um organische Verbindungen wie den Biofilm aufzulösen. EDTA eignet sich als Schlusspülung, um die Schmierschicht aus dem Kanal zu eliminieren. [146]

Weiterhin dienen die Spülungen dem Abtransport von Rückständen aus dem Kanal oder dem Schmieren der eingebrachten Instrumente [25]. Im Sinne der Effektivität der

Spüllösungen bezüglich ihrer bakterieneliminierenden Eigenschaften, sollten EDTA und NaOCl nicht vor dem Einbringen in den Kanal miteinander gemischt werden, da dies die bakterizide Wirkung des NaOCl signifikant negativ beeinflusst. Erst wenn beide Lösungen gleichzeitig oder nacheinander in der Reihenfolge NaOCl und danach EDTA appliziert werden, kann NaOCl seine vollständige bakterizide Wirkung ausüben. [147]

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben wie lange und in welcher Konzentration die jeweilige Spüllösung angewendet werden soll [145]. Generell gilt, dass die Spüllösungen zwar suffiziente Desinfektion bewirken sollen, das periradikuläre Gewebe jedoch nicht gereizt werden sollte und keine Extrusion über das Foramen hinaus riskiert werden sollte [25]. Da das langfristige Ergebnis und damit die Prognose einer Wurzelkanalbehandlung von einer maximalen Bakterienreduktion abhängt, wurden Studien angestellt, ob und wie die Lösungsfähigkeit des NaOCl noch weiter verbessert werden kann:

In einer aktuellen Laborstudie aus 2021 konnte gezeigt werden, dass das Erhitzen von NaOCl allein oder auch in einer kombinierten Lösung mit Etidronat (HEDP) die Fähigkeit organische Stoffe aufzulösen und die Entfernung der Schmierschicht im Kanal verstärkt. Die Kombination des NaOCl mit HEDP erfordert jedoch eine häufige Auffrischung, infolge der Reaktion zwischen den beiden Reagenzien, in der NaOCl seine Wirkung langsam verliert. [148]

Neben der oben beschriebenen Kombination mit anderen Spüllösungen, kann die chemo-mechanische Reinigung ebenfalls auf andere Arten weiter optimiert werden: Dabei hat sich die Ultraschallaktivierung der Spüllösungen zur signifikanten mikrobiellen Reduktion im Wurzelkanalsystem als möglicher Beitrag zur Verbesserung des Ergebnisses der Wurzelkanalbehandlung herausgestellt. [149]

Die Anwendung verschiedener aufeinanderfolgender Spüllösungen (zuerst NaOCl und anschließend CHX), sowie die anschließende Einlage einer einwöchigen Medikation mit Calciumhydroxid, hat gezeigt, dass durch jeden weiteren Behandlungsschritt (Spülung, Medikamenteneinlage) die Desinfektion des Kanalsystems verbessert werden konnte. Dabei wurde nicht nur die Anzahl der Bakterien, sondern auch die Vielfalt der Spezies, signifikant reduziert [150]

Für die allgemeine Kanalformung gilt es nach Schilder 1974 einige biologische und mechanische Kriterien zu berücksichtigen, die zu einem positiven Endergebnis beitragen: Beispielsweise sollte die Wurzelkanalerweiterung kontinuierlich konisch von apikal eng

nach koronal weit erfolgen [151]. Der aufbereitete Kanal sollte außerdem den ursprünglichen Kanal umfassen [25].

Das Ziel dieser idealen Präparationskriterien soll sein, später eine einwandfreie Obturation gestalten zu können, die zu einer langfristig erfolgreichen Prognose führt. Indem das apikale Foramen möglichst „kleinlumig“ und an seiner ursprünglichen Stelle gehalten wird, soll eine Überfüllung des jeweiligen Kanals zum Zeitpunkt der Obturation vermieden werden. Dennoch gilt, wenn auch diese Kriterien zur idealen Wurzelkanalpräparation berücksichtigt werden, dass die Oberflächenbearbeitung der Wurzelkanalwände tendenziell nie vollständig erfolgt, da unterminierte Bereiche oder Isthmen zur Präparation nur unzureichend erreicht werden können. [6]

Um diesen Herausforderungen im Aufbereitungs- aber auch im Abfüllungsprozess gerecht zu werden, rät die European Society of Endodontology (ESE) im Konsenspapier als „Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung“, zur Zuhilfenahme ergänzender Lichtquellen und optischer Vergrößerungen zur Identifikation der individuellen Besonderheiten der Kanalanatomie [25]. Übereinstimmend formulierten Song et al. nach der Anfertigung ihrer Arbeit zur Misserfolgsursache der nicht-chirurgischen endodontischen Behandlung die Schlussfolgerung, dass der Einsatz eines Operationsmikroskops die Prognose einer nicht-chirurgischen endodontischen Behandlung vorhersagbarer machen und günstig beeinflussen kann.[152]

Das Ziel der Obturation als positiv prognostischer Einflussfaktor stellt eine bakterien-dichte, wandständige, homogene Füllung des endodontischen Systems bis zum Foramen physiologicum dar. [6]

Eine Studie aus dem Jahr 2000 brachte die Ergebnisse hervor, dass bei Zähnen mit einem adäquaten lateralen Verschluss eine geringere Inzidenz der periapikalen Aufhellung detektierbar war als bei jenen mit unzureichendem Seal. Bezogen auf die Wurzelfüllungs-länge bedeutete dies, dass Zähne mit unzureichender Länge der Wurzelfüllung häufiger mit einem schlechteren periapikalen Status assoziiert waren [153]. In diesem Zusammenhang soll die Bezeichnung „unzureichende Länge“ sowohl eine zu kurze Länge, also eine sogenannte „Unterfüllung“, wie auch eine zu lange Länge, eine sogenannte „Überfüllung“, beschreiben. Andere Studien bestätigen diesen signifikanten Zusammenhang der Qualität der Wurzelfüllung mit der Prävalenz periapikaler Läsionen [44, 103, 154, 155]. Manche Autoren beschreiben dabei das Zusammenspiel der Länge und der Gleichmäßigkeit der Wurzelkanalfüllung als maßgebend für die Qualität der Wurzelkanalfüllung [124, 156].

Andere Autoren bestätigen zwar den prognostischen Einfluss der Qualität der Wurzelfüllung, binden ihn aber an die Kombination mit dem (noch größeren) prognostischen Einfluss der zugehörigen koronalen Restauration [102].

Zum Beispiel Özbas et al. stellen aber fest, dass insbesondere bei unterfüllten Zähnen das Auftreten apikaler Beherdungen signifikant hoch ist, weshalb sie schlussfolgern, dass „[...] Zahnärzte erhebliche Anstrengungen unternehmen sollten, um die technische Qualität von Wurzelkanalfüllungen zu verbessern. [...]“ [157]. Meirinhos et al. kommen bezüglich der Aussage bei zu kurzen Wurzelfüllungen zum selben Ergebnis und zeigen darüber hinaus, dass dagegen Wurzelfüllungen angemessener Länge und Überlänge Ergebnisse aufweisen, die mit signifikant geringeren Prävalenzen apikaler Beherdungen verbunden sind [158]. Trotzdem führt auch eine Überfüllung der Obturationslänge nicht zu einer prognostischen Verbesserung [159]. Die Autoren Ricucci und Langeland sprechen im Zusammenhang der Extrusion der Obturation periapikal sogar von „[...] einer schweren Entzündungsreaktion einschließlich einer Fremdkörperreaktion. [...]“ [160]. Die Ergebnisse der Studie von Ng et al. deuten sogar darauf hin, dass die Überfüllung der Obturation zur signifikanten Erhöhung der Verlustrate des betreffenden Zahns nach einer anfänglichen Überlebensdauer von 22 Monaten hinaus haben kann [161]. Dennoch scheint eine Überfüllung des Wurzelkanalsystems immer noch weniger zum potentiellen Versagen einer Wurzelkanalbehandlung beizutragen, als eine Überfüllung [152].

Zur idealen apikalen Ausdehnung der Wurzelfüllung finden sich in der Literatur Empfehlungen, dass die Obturation, um die Prognose ideal zu begünstigen, entweder bündig oder nicht mehr als 2mm vom röntgenologischen Apex entfernt enden sollte [132, 162-164]. Als potenzielle Ursachen dafür werden „[...] das Fehlen einer angemessenen apikalen Abdichtung [...], was die Vermehrung von apikalen Bakterien ermöglicht und die Prävalenz von apikaler Parodontitis erhöht.“ [158] vermutet.

Weiterhin prognostisch erfolgsrelevant ist die Tatsache ob eine endodontische Primärbehandlung erfolgt, oder ob bereits eine endodontische Therapie stattgefunden hat und nun eine Revision durchgeführt werden muss [6].

Jeder erneute Aufbereitungsprozess des Kanalsystems im Rahmen einer erneuten Behandlung, also Revision, bringt weitere iatrogen herbeigeführte Formveränderungen der ursprünglichen Kanal Anatomie mit sich, die im weiteren Behandlungsverlauf beispielsweise zu Stufen, Perforationen, Transportation des apikalen Foramens aber auch

Obturationen mit kontaminiertem Material führen können, und die Behandlung damit erschweren können.[6, 28, 128]

Im Gegensatz zu Revisionsbehandlungen, haben Primärbehandlungen sogar dann eine gute bis sehr gute Prognose, wenn nicht alle Anteile des Wurzelkanalsystems vollständig gefüllt wurden, vorausgesetzt die Asepsis der Pulpa zum Zeitpunkt des Einleitens der Wurzelkanalbehandlung konnte aufrechterhalten werden. [28]

Zum erhöhten Schwierigkeitsgrad einer erfolgreichen Revision trägt die Voraussetzung, der suffizienten Entfernung des Wurzelfüllmaterials, die einer erneuten Aufbereitung des Kanalverlaufs und der intensiven Desinfektion vorangestellt sind, bei. Ebenso stellt sich das Keimspektrum eines infizierten endodontischen Systems bei einer Revision als vielfältiger dar als bei einer Primärbehandlung. Im Zuge der Aufbereitung besteht ein erhöhtes Risiko der Instrumentenfraktur bei der Interaktion der Feile mit dem Obturationsmaterial, aber auch die anschließende Obturation erscheint schwieriger nach dem erneut veränderten Kanalverlauf und einem vermutlich unphysiologisch erweiterten apikalen Foramen. [6]

Komplikationen wie die Instrumentenfraktur innerhalb der Wurzelkanalbehandlung können prognostisch Einfluss nehmen:

In einer Studie aus 2005 zur Untersuchung des Einflusses einer Instrumentenfraktur auf das Ergebnis einer endodontischen Behandlung, lagen die Gesamtheilungsraten der Fälle mit einem gebrochenen Instrument mit 91,8% knapp unterhalb der Gesamtheilungsraten für die Kontrollgruppe ohne Feilenbruch (94,5%). Insbesondere wenn eine röntgenologisch sichtbare, präoperative periapikale Aufhellung vorgelegen hat, war die Heilung negativ prognostisch beeinflusst (86,7%). Dies galt jedoch auch für die Kontrollgruppe, in der kein Feilenbruch stattgefunden hatte. Hier lag die Erfolgsrate bei 92,9%. Diese Studie schlussfolgert jedoch auch, dass die Prognose nicht signifikant beeinflusst wurde, wenn die Behandlung durch einen Endodontologen stattgefunden hat. [165]

Simon et al. beschreiben in ihrer Untersuchung zum Einfluss gebrochener Aufbereitungsinstrumente auf die Erfolgsrate endodontischer Behandlungen, dass sowohl der Zeitpunkt des Feilenbruchs als auch der Grad der Kanalinfektion, bei der Bestimmung der potenziellen Auswirkung auf das Behandlungsergebnis berücksichtigt werden sollten. [166]

Phase 4 der Toronto-Studie belegt, dass intraoperative Perforationen einen negativen Einflussfaktor auf die Prognose darstellen: Zähne, die röntgenologisch keine apikale

Aufhellung aufweisen, die nur eine einzelne Wurzel haben und keine Komplikation im Sinne einer Perforation während der Behandlung erlebt haben, weisen prognostisch ein besseres Ergebnis auf. [167]

In einer weiteren Studie, in der die Gesamterfolgsrate von nicht-chirurgisch gedeckten Perforationen geschätzt wurde, lag die Gesamterfolgsrate bei 72,5%. Hier erhielt man das Ergebnis, dass eine bereits bestehende apikale Aufhellung zusätzlich zur Perforation, zu einer geringeren Erfolgswahrscheinlichkeit für die Heilung nach der Reparatur führt. Befand sich der Zahn im Oberkiefer, hatte er eine günstigere Prognose für die Heilung nach der Perforationsdeckung als im Unterkiefer. [168]

Mehrere Studien zeigen, dass die Lokalisation und Größe der Läsion und die Zeit, die bis zum Verschluss der Perforation vergeht, Einfluss auf die Prognose haben: Je geringer sie sind, desto besser stellt sich die Prognose dar. [169, 170]

In einer anderen Studie konnte eine Erfolgsquote von 90% ermittelt werden. Hier stellten sich weiterhin das Geschlecht des Patienten und der Restaurationsstatus des behandelten Zahns als signifikante prognostische Faktoren heraus. [168]

Man unterscheidet chirurgische und nicht-chirurgische Ansätze zur Perforationsdeckung. Für Letztere spielt das Versiegelungsmaterial eine wichtige Rolle: Calciumhydroxid, Mineral-Trioxid-Aggregat und Calciumsilikat zemente sind laut Literatur die drei am häufigsten empfohlenen Materialien. [169]

2.6.3 Postoperative prognostische Einflussfaktoren

Das Zusammenspiel aus der Wurzelfüllung und der koronalen Restauration dienen gemeinsam als Barriere gegen das Vordringen von Mikroorganismen und einer Reinfektion des endodontischen Systems [103]. Deshalb sollte nach abgeschlossener endodontischer Behandlung, mit dem Ziel der Vermeidung einer postoperativen bakteriellen Rekontamination des Endodonts, der erfolgreich behandelte, obturierte Zahn mit einer angemessenen Restauration versorgt werden. [25, 62, 119]

Diese koronale Restauration sollte nicht nur den bakteriendichten Verschluss des koronalen Defekts gewährleisten, sondern auch infolge der Wiederherstellung des koronalen Substanzdefekts auch der Frakturgefahr entgegenwirken. [6, 25, 119]

Für Patienten soll diese Restauration die Wiederherstellung der ursprünglich angedachten Form und Funktion des betroffenen Zahns als Teil des Kauapparats darstellen [6].

Insgesamt zeigen Studien, dass die allgemeine Versorgung des behandelten Zahns mit der Platzierung einer Krone bzw. einer Restauration, die Überlebensrate dieser Zähne signifikant verbessern. [131, 133, 171, 172]

Im Umkehrschluss konnte das Fehlen einer Restauration im Rahmen der Nachuntersuchungen als signifikanter Prädiktor für niedrigere Erfolgsraten identifiziert werden [133]. Wurden behandelte Zähne nach einer WKB nicht mit Hilfe einer definitiven Restauration wiederhergestellt, mussten sie signifikant häufiger extrahiert werden als Zähne, die definitive Restaurationen erhalten hatten [121]. Aquilino et al. stellen in Ihrer Studie von 2002 für nicht-überkronte, endodontisch behandelte Zähne sogar eine 6-fach höhere Verlustrate heraus. Auch provisorischen Restaurationen an behandelten Zähnen schneiden schlechter ab und sorgten für viel mehr Verluste als andere Restaurationstypen [173].

Da die Wurzelkanalfüllung, nach erfolgreicher Obturation, beispielsweise mit Hilfe eines provisorischen Verschlussmaterials verschlossen, einer hohen Penetration an Flüssigkeiten und Bestandteilen der Mundflora in der Mundhöhle ausgesetzt sind, empfiehlt es sich sofern der Patient klinisch beschwerdefrei ist und die Obturation den allgemeingültigen Standards entspricht, die endgültige Restauration schnellstmöglich „[...] ohne Wartezeit [...]“ [119] vorzunehmen. Das Ausmaß der Speicheldurchdringung von obturierten Wurzelkanälen in Abhängigkeit der Zeit wurde im Rahmen einer Studie 1991 untersucht und als klinisch signifikant angesehen [174]. In diesem Zusammenhang spricht die Literatur von der „koronalen Leckage“ oder auch der „koronalen Mikroleckage“ der Restauration [175]: Deren Bedeutung wurde unter anderem von den Autoren Meirinhos et al. 2019 in ihrem Artikel des International Endodontic Journal, bezugnehmend auf die Ergebnisse einer Studie von Ray und Trope aus 1995 [102], als möglicherweise „[...] gleichwertig wichtig [eingestuft], wie jeder Schritt der Wurzelkanalbehandlung selbst. [...]“ [158].

Zum zeitlichen Aspekt, wann die Restauration anzufertigen bzw. einzugliedern sei, empfiehlt die DGZMK in ihrer Stellungnahme aus dem Jahr 2000 „[...] eine möglichst rasche definitive Versorgung [...]“ [119] und den Zeitraum der endgültigen Versorgung „[...] innerhalb weniger Wochen nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung [...]“ [119]. Mehrere Studien belegen dies: Mindiola et al. folgern in ihrer epidemiologischen Studie aus 2006, dass eine sofortige postendodontische Restauration die Überlebensdauer endodontisch behandelter Zähne verbessern kann: Diese Studie hatte zum Ergebnis, dass der bedeutendste Faktor für die anschließende Extraktion (mehr als 40% der extrahierten Zähne) der behandelten Zähne war, dass diese keine endgültigen Restauration innerhalb von 90

Tagen nach Durchführung der Wurzelkanalbehandlung erhalten haben. Bereits das generelle Nichteingliedern der Restauration am Tag der Fertigstellung der Obturation, führte zur Erhöhung der Verlustrate der behandelten Zähne im Vergleich zu den Zähnen, die die Restauration am selben Tag erhalten hatten. Die rechtzeitige Platzierung trägt also eine bedeutende Rolle für die Prognose [176]. Landys Borén et al. schlussfolgern ebenfalls, dass der umso kürzere zeitliche Abstand zwischen der Obturation und dem Eingliedern der definitiven Restauration zur besseren Überlebensrate beiträgt [131]. Willershausen et al. benennen als prognostisch erfolgsverbessernd einen Zeitraum innerhalb von zwei Wochen nach Fertigstellung der Wurzelkanalbehandlung [177].

Neben dem Zeitpunkt ihrer Eingliederung belegen mehrere Studien, dass die Qualität der postendodontischen koronalen Restauration eine entscheidende Rolle für die Erfolgswahrscheinlichkeit der endodontischen Behandlung spielt: Den generell signifikanten Einfluss der Qualität der postendodontischen Restauration auf den Erfolg der Behandlung bzw. die Überlebensrate der behandelten Zähne, besonders auch in Verbindung mit der Qualität der Wurzelfüllung, belegen die Ergebnisse zahlreicher Studien [102, 103, 153, 156]. Im Umkehrschluss wurde auch das Fehlen einer koronalen Restauration als prognostisch verschlechternder Faktor identifiziert [133].

Die Studienlage, welcher der zuvor genannten Einflussfaktoren prognostisch den stärkeren Einfluss hat, ist unstimmgig:

Gemessen am postendodontischen Beherdungsgrad, zeigen die Ergebnisse der Studie von Ray und Trope aus 1995, dass eher die gute Qualität der Restauration im Vergleich zur guten Qualität der Wurzelfüllung zu einer statistisch signifikant höheren Rate an beherdungsfreien Zähnen führt. Umgekehrt führt eine qualitativ minderwertige Restauration auch zu einer statistisch signifikant höheren Rate an beherdeten Zähnen als eine minderwertige Wurzelfüllung. Der prognostische Einfluss der Qualität der Restauration scheint hier die ebenfalls prognostisch relevante Qualität der Wurzelfüllung in beide Richtungen zu überbieten. Weiterhin addierte sich der Einfluss der beiden günstigen Prognosen (der jeweils qualitativ hochwertigen Wurzelfüllung und jener der Restauration), sodass, wenn beide günstige Faktoren vorlagen, die beste Rate an beherdungsfreien postendodontischen Ergebnissen vorlagen. Es addierten sich in dieser Studie auch die beiden ungünstigen Einflüsse gegenseitig: Mindere Qualität der Wurzelfüllung und der Restauration führten zur geringsten Rate postendodontisch beherdungsfreier Zähne. [102]

Fünf Jahre später führten Tronstad et al. ebenfalls eine Studie zum „Einfluss koronaler Restaurationen auf die periapikale Gesundheit endodontisch behandelter Zähne“ durch, und auch hier war das Ergebnis, dass die beiden günstigen Faktoren (gute Restauration und gute Obturation) zum besten Erfolg führten. Anders als bei Ray und Trope hingegen, hatten hier die beiden Gruppen mit qualitativ hochwertiger Obturation aber die höchsten Erfolgsraten. Und umgekehrt, hatten die beiden Gruppen mit qualitativ schlechter Obturation signifikant niedrigere Erfolgsraten, sodass hier der Einfluss einer guten Obturation als prognostisch relevanter erscheint, als der der koronalen postendodontischen Restauration [178]. In einer weiteren Studie zu diesem Thema bewirkte die Kombination eines ungünstigen Faktors („minderwertige Wurzelfüllung“ oder „minderwertige koronale Restauration“) mit dem jeweils anderen günstigen Faktor („hochwertige Restauration“ oder „hochwertige Wurzelfüllung“) keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Heilung der periapikalen Parodontitis [155].

Interessant ist auch das Ergebnis einer Studie zum Einfluss der koronalen Restaura-tionsqualität auf die Zusammensetzung der Wurzelkanalmikroflora bei Zähnen mit apikaler Parodontitis: Wenn die behandelten Zähne bereits wurzelgefüllt waren und eine erneute apikale Beherdung aufwiesen, und zusätzlich defekte koronale Restaurationsränder hatten, hatte dies einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Biodiversität, also die mittlere Anzahl der im Endodont vorliegenden Bakterien. [179]

Zur Entscheidung mit welcher Art postendodontischen, definitiven, koronalen Restauration der obturierte Zahn idealerweise weiterversorgt wird, tragen *„[...] der Anteil an verloren gegangener Zahnhartsubstanz durch vorherigen Substanzverlust, das Ausmaß der Trepanationsöffnung mit Abtrag des Pulpakammerdachs und der Abtrag des radikulären Dentins bei der Aufbereitung.“* [6] bei.

Neben dem Wiederaufbau der verlorengegangenen Substanz zur Wiederherstellung der Form und Funktion des betreffenden Zahns, soll mit Hilfe der definitiven Restauration der Frakturgefahr des Zahns entgegengewirkt werden: In der gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ heißt es, dass *„[...] unter Schonung von möglichst viel gesunder Zahnhartsubstanz eine zuverlässige Verankerung für eine definitive Restauration geschaffen werden [...]“* [33] soll.

Der größtmögliche Erhalt der Restzahnschubstanz soll auch zur Frakturstabilität beitragen: *„Eine Schwächung des Zahns, wird nämlich vorwiegend durch den Zahnhartsubstanzverlust verursacht, der durch die Zugangskavität, die Entfernung des Kavumdachs und in geringem Maße auch durch die Aufbereitung der Wurzelkanäle entsteht.“* [33].

Studien belegen nicht nur, dass das Überleben endodontisch behandelter Zähne durch die Versorgung mit einer definitiven Versorgung wahrscheinlicher wird als verglichen mit einem provisorischen Verschluss [132], sondern auch, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Art der koronalen Restauration und dem statistischen Langzeitüberleben gibt [129, 173].

Die Studienlage welche Art der Versorgung nun zum besten Überleben beiträgt, widerspricht sich je nach Ergebnissen der Studie des jeweiligen Autors: Die Ergebnisse von Lynch et al. deuten darauf hin, dass das statistische Überleben des Zahns dann am wahrscheinlichsten ist, wenn sie mit gegossenen Restaurationen versorgt werden [173].

Unter den direkten Restaurationen schnitten in dieser Studie jene Zähne, die postendodontisch mit Amalgamfüllungen restauriert wurden besser ab, als jene, die eine Kompositfüllung erhalten hatten [173]. Hommez et al. berichteten ebenfalls, dass durch Amalgam restaurierte Zähne seltener als mit Komposit restaurierte Zähne, postoperativ röntgenologisch ermittelt, eine apikale Parodontitis aufwiesen und dass dieser Einfluss statistisch signifikant war. Weiterhin wiesen hier Zähne, die außerdem zusätzlich ein Basismaterial unter ihrer Restauration hatten, signifikant weniger apikale Parodontitiden auf [156].

Wenn die Zähne mit Hilfe einer direkten Restauration, also ohne Kronenabdeckung, nach einer endodontischen Behandlung versorgt wurden, zeigte eine andere Studie bessere Überlebensraten für direkte Restaurationen aus Komposit als aus konventionellen Amalgamfüllungen [180]. Auch hinsichtlich der Bruchfestigkeit der restaurierten Zähne, konnte Amalgam als postendodontisches Restaurationsmaterial nur schlechte Eigenschaften aufweisen [181]. Bei wurzelgefüllten Prämolaren deren postendodontische Versorgung aus Amalgamfüllungen bestand, konnte in-vivo eine sehr hohe Häufigkeit von Höckerfrakturen beobachtet werden: Fast ein Drittel frakturierte innerhalb der ersten drei Jahre nach der endodontischen Behandlung. In derselben Studie brach keiner der postendodontisch mit Komposit restaurierten Prämolaren im selben Zeitraum, sodass der Unterschied zwischen postendodontischer Restauration aus Amalgam oder

Kunststoff im Intervall von null bis drei Jahren nach Restauration als hochsignifikant eingestuft wurde [182].

In einer weiteren Studie zeigten endodontisch behandelte Prämolare von allen untersuchten Seitenzähnen die schlechtesten Überlebensraten, wenn sie mit einer Amalgamfüllung in MOD-Ausdehnung restauriert wurden: Hier frakturierten 28% innerhalb der ersten drei Jahre, 57% gingen nach 10 Jahren verloren; fast Dreiviertel (73%) überlebten keine 20 Jahre. Deshalb schlussfolgern die Autoren, dass sich Amalgam allgemein nicht als Material zur postendodontischen Restauration von Seitenzähnen eignet, besonders wenn es zur Restauration von Kavitäten der MOD-Ausdehnung angewendet werden soll [183].

Gegen eine Restauration mit einer Kompositfüllung spricht außerdem die Schlussfolgerung von Chala et al., die in Ihrer Studie zur „Prävalenz der apikalen Parodontitis und Faktoren, die mit dem periradikulären Status assoziiert sind“, beobachtet haben, dass „[...] die Wahrscheinlichkeit einer apikalen Parodontitis [...] nach Wurzelkanalbehandlung und koronaler Füllung signifikant an[stieg] und [...] eng mit der Qualität der Füllung verbunden [...]“ [103] war.

Zähne, die als postendodontische Versorgung eine Glasionomerzementfüllung erhalten hatten, zeigten eine signifikant höhere mittlere Frakturrate als durch Amalgam oder Komposite restaurierte Zähne [184]. Auch Dammaschke et al. raten von Zementen als Füllungsmaterial für postendodontische Restaurationen ausdrücklich ab: In dieser Studie fallen die 10-Jahres-Überlebensraten für Amalgam- oder Komposit-restaurierte Zähne dagegen ähnlich gut aus [132].

Eine elementare Schlussfolgerung zur Wahl der Art der postendodontisch verwendeten Restauration, betrifft die Restmenge der noch verbleibenden koronalen Zahnhartsubstanz: Je größer deren Menge war, desto mehr stieg die Überlebenswahrscheinlichkeit der wurzelkanalbehandelten Zähne [180]. Die Studie von Dammaschke et al. zeigt, dass die mittlere Überlebenszeit bei endodontischen behandelten Zähnen, deren Kavität direkt adhäsiv mittels Kompositfüllung verschlossen wurde, länger war als die der Zähne mit Verschluss durch Amalgamfüllungen. Besonders wurde hier aber der Faktor „Anzahl der Flächen“ herausgestellt, der unwichtig des Füllungsmaterials (Komposit, Amalgam oder Glasionomerzement) im Rahmen von ein bis zwei Flächenanteilen zu einer signifikant niedrigeren Frakturrate führt als bei einer Anzahl restaurierter Flächen von drei oder mehr. Gemessen an der Frakturresistenz, lässt es sich also argumentieren, dass Zähne mit

eher geringem Destruktionsgrad mit indirekten Restaurationen in Form von Kompositfüllungen versorgt werden können, wenngleich die Versorgung mit einer indirekten Restauration im Allgemeinen zu einer weiteren signifikanten Verringerung der Frakturrate führt [184].

Dass die Frakturresistenz postendodontisch mit indirekten Restaurationen versorgter Zähne deutlich besser ist, belegen verschiedene Studien: Gegossene Goldteilkronen zeigen die höchsten Bruchfestigkeiten im Rahmen der thermomechanischen Belastung einer In-vitro-Studie. Sie gelten deshalb als das ultimative Mittel der Wahl zur stabilen Restauration geschwächter Höcker nach endodontischer Behandlung. [181]. Die Idee kleinere Präparationsdesigns (Inlays) anstelle von Teilkronenpräparationen zugunsten der postendodontischen Stabilität zu wählen, hat sich als nicht sinnvoll erwiesen: Im Allgemeinen konnten die Teilkronen eines Materials, gemessen an der Frakturresistenz des versorgten Zahns, immer besser abschneiden als Inlays desselben Materials (Ausnahme IPS Empress) [181]. In einer anderen Studie erhöhten die mit Kunststoff verklebten, gegossenen Inlay-Restaurationen die Bruchfestigkeit endodontisch behandelte Prämolare zwar im Vergleich zu Silberamalgamrestaurationen signifikant, noch weiter erhöht, konnte die Bruchstabilität aber nur mit Hilfe von gegossenen Onlay-Restaurationen werden, die mit Zinkphosphatzement zementiert wurden, [185].

Krug et al. ergänzen im Journal „Zahnmedizin up2date“ aus dem Jahr 2017, Ausgabe 2, mit dem Titel „Die Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne“, dass *„[...] der Erhalt großer zusammenhängender Zahnhartsubstanzanteile, insbesondere der bukkalen und oralen Wände wie bei Teilkronen[-präparationen] charakteristisch, [...] sich positiv auf den langfristigen Zahnerhalt aus[wirken].“* [6]. Deshalb sprechen Sie für endodontisch behandelte Zähne mit größerem Verlust die Empfehlung aus, dass diese mit einer indirekten Restauration versorgt werden sollten [6].

Außerdem konnten im Zusammenhang mit adhäsiv befestigten CAD/CAM-gefrästen-Keramik-Inlays (CEREC) signifikant häufiger schwere Frakturen (Frakturen des palatinalen Höckers auf unterschiedlichen Höhen) im Vergleich zur Kontrollgruppe beobachtet werden [186]. Diese Studie untersuchte sogar ausdrücklich endodontisch behandelte Oberkiefer-Prämolare.

Möglicherweise als Reaktion auf die besseren Erfolge von Restaurationen mit größerer Flächenabdeckung als kleinere, wurde der Faktor „Höckerabdeckung“ bei postendodontischen Restaurationen näher untersucht: Der Höckerbedeckung konnte hinsichtlich der

Vermeidung von Randleckagen aber auch von Höckerfrakturen eine entscheidende Bedeutung nachgewiesen werden [187]. Die Studie von Xie et al. unterstreicht, dass das Restaurationsdesign von wurzelgefüllten Prämolaren die Höcker vollständig überdecken sollte, wenn sie die Frakturresistenz unterstützen soll [188]. Dieser Effekt konnte sowohl bei indirekten, keramischen Restaurationen beobachtet werden: Die postendodontische Restauration eines Prämolaren mit einem keramischen Onlay mit palatinaler Höckerabdeckung, war der Versorgung mit einem keramischen Inlay (MOD-Ausdehnung) bei einer Restwandstärke von 2mm hinsichtlich der Bruchfestigkeit überlegen [189]. Das Reduzieren und anschließende Miteinbeziehen eines Höckers im Rahmen der Restauration endodontisch behandelter Prämolare mit Kompositfüllungen, die einen Substanzdefekt in mesial-okklusal-distaler Größenordnung vorweisen, erhöhte aber auch deren mittlere Bruchfestigkeit signifikant [190]. Genauso wurde auch für Amalgamrestaurationen geschlossen, dass es ein inakzeptables Material zur postendodontischen Restauration sei, wenn es ohne Höckerauflagen verwendet werden soll [183].

In ihrer systematischen Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2007 betonen Stavropoulou und Koidis, dass die 10-Jahres-Überlebensrate bezogen auf die postendodontische Versorgung endodontischer Zähne mit indirekten Restaurationen deutlich höher ausfiel als die mit direkten Restaurationen aus Amalgam, Komposit oder Zement. Dieser signifikante Unterschied zeigt sich hier nach dem Zeitraum der ersten drei Jahre nach der Obturation. Solange zeigten die Zähne mit direkter Versorgung noch ein zufriedenstellendes Überleben [172].

Dammaschke et al. empfehlen aus ihren Ergebnissen schlussfolgernd grundsätzlich als definitive Restaurationen indirekten Restaurationen wie Kronen oder Teilkronen [132]. Auch in der Studie von Cheung et al. setzte sich die Krone gegen andere Restaurationsarten durch signifikant höhere Überlebenswahrscheinlichkeiten durch [129].

Wie wichtig, das postendodontische Versorgen des Zahns mit einer Krone sein könnte, wird aus der Studie von Ng et al. aus 2010 ersichtlich, die aus einem Pool von mehreren vorangegangenen Studien, die für alle Studien gegoltenen prognostisch relevantesten Faktoren herausgearbeitet hat: Der Faktor mit dem höchsten Einfluss auf die beobachteten Überlebensraten ist die Kronenrestauration nach Wurzelkanalbehandlung [191].

Wenn wurzelgefüllte Zähne mit einer Krone als postendodontische Restauration versorgt wurden, scheint für ihre anschließende Überlebenswahrscheinlichkeit ausschlaggebend, ob dieser Zahn einzeln überkront wurde oder ob er mit seiner Krone als Brücken- oder

Prothesenpfeiler dient: Lazarski et al. berichten für Zähne als Teil einer mehrgliedrigen Restauration prozentual fast doppelt so hohe Inzidenzen für Extraktionen wie für Zähne eingliedriger Restaurationen (4,20% versus 2,54%). Dieser Unterschied war statistisch signifikant. [121]

In der Studie von Meirinhos et al. konnte zwischen Kronen und Brücken als indirekte postendodontische Restauration kein statistisch signifikanter Unterschied in der Prävalenz der apikalen Parodontitis ausgemacht werden, wenngleich der Anteil an periapikalen Läsionen für beide Gruppen vergleichsweise hoch war. [158]

In ihrer systematischen Überprüfung der Literatur schildern Ng et al. als Ergebnis, dass die Metaanalyse aus den Daten dreier Studien, darunter die zuvor genannte Studie von Lazarski et al., ergeben hat, dass wurzelgefüllte Zähne, die weder als festsitzende noch als herausnehmbare prothetischer Stützpfeiler dienten, mit einer statistisch signifikant höheren Überlebenswahrscheinlichkeit assoziiert waren. [191]

Ob die Belastung des endodontisch behandelten Zahns als Stützpfeiler durch die Versorgung mit einer herausnehmbaren oder festsitzenden Versorgung für bessere Überlebenswahrscheinlichkeiten sorgt, lässt sich anhand der Studienlage nicht genau beantworten: Salvi et al. beschreiben in Ihrer Schlussfolgerung, dass unter der Annahme der qualitativ hochwertig durchgeführten Wurzelkanalbehandlung und Restauration, hohe Überlebens- und geringen Komplikationsraten für wurzelgefüllte Zähne – ein oder mehrwurziger Art – nach einer Beobachtungszeit von mindestens 4 Jahren dann zu erwarten sind, wenn die Zähne als Pfeiler einer festsitzenden Restauration fungieren [192].

Die Stichprobe in der Studie von Alley et al. war zwar zu klein, um statistische Signifikanz zu erreichen, ihre Ergebnisse zeigten aber die Tendenz, dass wurzelgefüllte Zähne, die als Stützpfeiler einer herausnehmbaren Prothese fungierten, im Vergleich zu Zähnen, die als festsitzende Brückenpfeiler dienten, eine geringere Misserfolgsrate vorwiesen. [163]

Dagegen stehen die Schlussfolgerungen, die Wegner et al. berichten: Die Überlebensraten wurzelgefüllter Pfeilerzähne für festsitzende und herausnehmbare Versorgungen unterscheiden sich statistisch signifikant und fallen zu Ungunsten der Zähne aus, die als Abutments herausnehmbarer Teilprothesen (auf konischen Doppelkronen) dienen. Besonders dann, wenn diese Abutments mit Hilfe einer Stift- bzw. Stift-Stumpf-Restauration aufgebaut wurden, kam es häufig zur Fraktur des Stifts, dem Verlust der Stiftretention oder zu einer Kombinationserscheinung aus Fraktur der Wurzel und des Stifts, was als Misserfolgsereignis gewertet wurde. Die Art der Befestigung (kunststoff-gebundene Stifte anstelle

zementierter Stifte), das Verwenden von direkten, vorgefertigten Stiftsystemen (anstelle von gegossenen Stift-Stumpf-Restaurationen) und das Wählen des Stiftdurchmessers in der Größe ISO 90 (anstatt ISO 50 oder ISO 110), konnten die Überlebensraten der Zähne, die als Abutment für herausnehmbare Teilprothesen fungierten, signifikant verbessern. Insgesamt zeigten vitale Pfeilerzähne als Abutmentretention herausnehmbarer Teilprothesen aber eine statistisch signifikant höhere Überlebensrate als wurzelgefüllte Pfeilerzähne [193]. Ob die postendodontische Insertion einer Stiftversorgung zur Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit zuträglich ist, scheint also von verschiedenen Faktoren abzuhängen.

Im Allgemeinen dienen Wurzelkanalstifte dazu, an wurzelgefüllten Zähnen, deren koronale Restsubstanz einen starken Destruktionsgrad aufweist, eine Retention für deren Aufbau bzw. deren definitive Restauration zu schaffen [33]. Besonders wenn endodontisch behandelte Zähne im Zahnbogen an Positionen liegen an denen sie funktioneller Belastung im Sinne von seitlichen Kaukräften ausgesetzt sind, oder prothetisch vermehrt Zug- oder Scherbelastungen ausgesetzt sind, erscheint es sinnvoll sich der Wurzelstiftinsertion als Retentionselement für eine dauerhafte Verankerung des postendodontischen Aufbaus zu bedienen [33, 194].

Die DGZMK empfiehlt in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme aus 2003 die Verwendung von Wurzelkanalstiften als Retention eines postendodontischen Aufbaus in Abhängigkeit vom Ausmaß des vorangegangenen Substanzverlusts der klinischen Krone:

Beim mittleren Destruktionsgrad fakultativ; abhängig davon ob die verbliebene Zahnhartsubstanz für einen direkten Aufbau unter einer Kronenversorgung ausreichend ist oder nicht; ab einem starken Substanzverlust jedoch obligat [33].

Die Ergebnisse diverser Studien zur Beantwortung der Frage ob Stiftrestaurationen generell zur höheren Überlebenswahrscheinlichkeit bzw. zur höheren Erfolgswahrscheinlichkeit beitragen ist kontrovers:

Zum Beispiel konnte in einer Studie speziell an wurzelkanalbehandelten Prämolaren, für Prämolare, die ohne Stiftinsertion versorgt wurden, die geringsten Überlebensraten beobachtet werden. Das Vorhandensein einer Wurzelkanalretention war hier ein signifikanter Faktor für die Überlebenswahrscheinlichkeit [195]. Auch die Ergebnisse anderer Studien vermitteln den Eindruck, dass die postendodontische Insertion einer Stiftversorgung allgemein zur besseren Überlebenswahrscheinlichkeit beiträgt [178], besonders wenn ein Retentionsstift mit einer anschließenden Kronenrestauration versorgt wurde [132].

Einige Studien berichten auch, dass der Einsatz von Wurzelkanalstiften keinen signifikanten - negativen wie auch positiven - Einfluss auf die periapikale Gesundheit [156] und auch nicht auf die Überlebensrate gibt [191, 192, 196].

Dagegen folgert eine Studie, dass wurzelgefüllte Zähne mit Kronen, die mit Hilfe eines Stifts befestigt waren, ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Vorliegen einer periradikulären Parodontitis nachgewiesen werden konnte [197].

Es gilt die Stiftinsertion unter den Risiken, die sich innerhalb des Applikationsvorgangs ergeben (beispielsweise iatrogene Wurzelperforation oder Wurzelfraktur) sorgfältig abzuwägen [198]. Laut des Artikels „Vertikale Wurzelfrakturen – eine klinische Herausforderung und ein pathogenetisches Phänomen“ von Claus Löst (Zahnmedizin up2date, 2 - 2017), kann die Stiftkanalpräparation und das Zementieren von Wurzelstiften einer der Faktoren sein, „[...] die mehr oder weniger entscheidend zur Ausbildung von VRF beitragen sollen.“ [199].

Da bei einer Längsfraktur laut aktuellen Leitlinien in der Regel die Indikation zur Extraktion besteht [200], ist sie deshalb einem absoluten Misserfolgsszenario gleichzusetzen.

Zu den Gefahren der Stiftinsertion gehören außerdem laut einer Studie „[...] (1) die induzierten Spannungen und das Bruchrisiko während der Platzierung des Dübels, (2) die Wahrscheinlichkeit einer Wurzelperforation während der Stiftraumpräparation, (3) die Keilwirkung konischer Dübel und (4) das Auftreten von Fraktur mit selbstschneidenden Stiften in devitalisierten Zähnen“ [198].

In aktueller Fachliteratur findet sich stellenweise immer noch der Hinweis, dass Zähne nach vorangegangener Wurzelkanalbehandlung unter zunehmender Versprödung infolge von Dehydrierung und Kollagenveränderungen leiden [62].

Obwohl es klinisch hin und wieder den Eindruck erweckt, dass Zähne nach einer Wurzelkanalbehandlung anfälliger für Frakturen sind, sind die ursächlichen Faktoren dafür nicht vollständig geklärt. In den 90er Jahren beschäftigten sich einige Studien mit diesem Thema: Die Ergebnisse einer Studie aus 1992 in der im Mittel seit über 10 Jahren wurzelgefüllte Zähne mit ihrem jeweils vitalen, kontralateralen Nachbarzahn verglichen wurden, weisen darauf hin, dass im Vergleich keine Versprödung vorlag, stattdessen aber andere Faktoren kritischer für das Versagen endodontisch behandelter Zähne seien [201]. Im Vergleich von wurzelgefüllten Zähnen und deren kontralateralen, vitalen Nachbarn, konnte kein signifikanter Unterschied im Feuchtigkeitsgehalt nachgewiesen werden [202]. Auch eine weitere Studie aus 1992 schlussfolgert, dass ihre Ergebnisse die Theorie

der geschwächten Dentinstruktur nicht unterstützen [203]. Eine neuere Studie aus 2011 untersuchte sogar die Veränderung auf nanomechanischer Ebene, konnte aber keine durch Wurzelkanalbehandlungen hervorgerufene Veränderungen des radikulären, intertubulären Dentins herausstellen [204]. Das Argument, einen Stift mit der Absicht der Kompensation der vermeintlich geschwächten Zahnstruktur einzusetzen, verliert unter diesen Ergebnissen seine Tragkraft [205-207].

So diskutieren beispielsweise Sorensen et al. anhand ihrer Ergebnisse, dass der Einsatz eines Stifts nicht aus der Motivation der Bruchresistenz der veränderten Zahnhartsubstanz heraus eingesetzt werden sollte, sondern eher zur Befestigung verloren gegangener Zahnhartsubstanz im Rahmen des postendodontischen Aufbaus oder der Vorbereitung zur Überkronung [196]. Denn das Einsetzen eines Stiftsystems scheint bei massivem Destruktionsgrad der koronalen Substanz die einzige Möglichkeit eine Retention für einen suffizienten Aufbau für eine postendodontische Retention zu schaffen. Mit dieser Aussage übereinstimmend empfiehlt auch die DGZMK in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme aus dem Jahr 2003 die Insertion von Stiftaufbauten „[...] zur Schaffung einer zuverlässigen Retention für den Aufbau [...]“ [33].

Eine Studie hat zum Ergebnis, dass MOD-Kavitäten infolge der Unterbrechung der Randleisten, die Festigkeit des zu restaurierenden Zahns um circa zwei Drittel gegenüber intakten Zähnen reduzieren [206], was außerdem ein erhöhtes Frakturrisiko mit sich bringt [183].

Dazu passt, dass bei starkem Destruktionsgrad, beispielsweise wenn weniger als zwei Kavitätenwände an koronaler Restsubstanz (Dentin) vorhanden waren, ein statistisch signifikanter Einfluss der Platzierung eines Stifts auf die Bruchfestigkeit nachgewiesen werden konnte [208]. Die Bruchfestigkeit endodontisch behandelter Prämolare war abhängig von der Anzahl der verbleibenden koronalen Wände [208]. Je mehr koronales Dentin vorhanden war, desto besser zeigte sich die Frakturresistenz [209]. Deshalb betont die Literatur, dass der Erhalt der Zahnhartsubstanz (Restdentin) zur Begünstigung der Frakturresistenz ein Muss ist [198, 205]. Allerdings führt auch der Vorgang der Stiftbohrung zu einer Reduktion der noch bestehenden Zahnhartsubstanz und ist unter diesem Aspekt genau abzuwägen [33].

Inwiefern die postendodontische Insertion einer Stiftversorgung zur Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit (im Sinne der Frakturresistenz) beiträgt, hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab [205].

Die Länge des Stifts, das Material und seine Form bzw. sein Befestigungsprinzip sind nur ausgewählte Komponenten und tragen unterschiedlich zur Verbesserung oder Verschlechterung der individuellen Überlebenswahrscheinlichkeit bei: In der gemeinsamen, wissenschaftlichen Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ zum „Aufbau endodontisch behandelter Zähne“ wird auf Basis der Ergebnisse verschiedener Studien, das „Ferrule-Design“ zur Restauration endodontisch behandelter Zähne als Methode der Wahl empfohlen [33]. Hiermit ist gemeint „[...] ein[en] mindestens 2mm breite[n] Randsaum apikal des Aufbaus zu präparieren, der später von der definitiven Krone umfasst wird.“ [33]. Voraussetzung für dieses Präparationsprinzip sind eine erfolgreich abgeschlossene Wurzelkanalfüllung und ein bereits inserierter Stiftaufbau (adhäsiv oder nicht-adhäsiv), der von dieser Wurzelfüllung mindestens 4mm Länge als apikale Versiegelung erhalten hat [33]. Dass die Widerstandsfähigkeit endodontisch behandelter Zähne gegen Frakturen ihrer Wurzeln durch diese Retentionsform erhöht werden kann, konnte von mehreren Studien belegt werden [210] [211]. Auch stellte sich das Ferrule-Design in Kombination mit einem vollkonfektionierten Stiftsystem als besonders vorteilhaft in der Bruchfestigkeit gegenüber anderen Stiftdesigns heraus [212].

Allgemeine Anforderungen an das Material der Stiftsysteme sind Biokompatibilität, Bruchfestigkeit und Passgenauigkeit, einfache Verarbeitung und die Option auf leichte, vollständige Entfernbarkeit. Idealerweise sind diese auch noch preisgünstig [213].

Derzeit gängige Stiftsysteme lassen sich in verschiedenen Materialien finden: Man unterscheidet metallische Stiftsysteme, keramische und faserverstärkte Kompositstiftsysteme (glasfaser-/carbonfaserverstärkt). Diese können vollkonfektioniert, halbkonfektioniert erworben oder individuell angepasst hergestellt werden. Sie unterscheiden sich in ihrer Form bzw. dem Stiftdesign (zylindrisch, konisch oder zylindrisch konisch) und in ihrer Oberfläche (glatt, aufgeraut/gezackt, mit oder ohne Gewinde).

Wie sich welches Material eines Stifts auf die Überlebenswahrscheinlichkeit auswirkt, war Gegenstand einiger vorangegangener Studien der letzten Jahre: Studien belegen, dass metallische Stiftsysteme infolge der höheren Misserfolgsraten mit Vorsicht angewendet werden sollten [177]. Beim unmittelbaren Vergleich von konfektionierten parallelseitige und individuell angefertigten, gegossenen Stiftsystemen konischer Form wiesen parallelseitige, gezackte Stifte eine signifikant höhere Erfolgsrate auf [214].

In einer Studie zum Vergleich der Bruchfestigkeit endodontisch behandelter Zähne, die mit Stiftsystemen unterschiedlicher Materialien restauriert wurden, zeigten mit

Glasfaser- und Zirkonstiften restaurierte Zähne signifikant niedrigere Bruchlasten als mit gegossenem Stiftsystem restaurierte endodontisch behandelte Zähne [215]. Infolge der Verbesserung der Frakturbeständigkeit endodontisch behandelter Zähne bei der Verwendung von Glasfaserstiften, wurden Stifte diesen Materials als gleichwertig einzustufende Alternative zu gegossenen Metallstiften/Metallgusspfoste deklariert [216]. Auch carbonfaserverstärkte Stifte setzen sich infolge signifikant geringerer Frakturnraten der durch sie versorgten Zähne sowohl gegen parallelwandige, vorgefertigte Metallpfosten als auch gegen konische, individuell angefertigte Metallgussrestorationen durch [217]. In einer anderen Studie wurden für individuell angefertigten gegossenen Stiftsystemen, deren Länge 2/3 der jeweiligen Wurzellänge betrug, signifikant höhere Bruchfestigkeit festgestellt werden als für Glasfaserstifte [218].

In einer aktuellen Studie aus 2021, die die Auswirkung des Stiftmaterials speziell an der Untersuchungsgruppe von Unterkieferprämolaren untersuchte, wiesen mit Titanstiften versorgte Zähne deutlich höhere Bruchfestigkeiten auf als mit Glasfaserstiften restaurierte Zähne [219]. Dies bestätigte die Ergebnisse einer anderen unlängst zuvor veröffentlichten Studie aus 2020 – ebenso auf Basis eines Pools aus Unterkiefer-Prämolaren. Hier konnte auch eine statistisch signifikante Erhöhung der Frakturresistenz mit zunehmendem Stiftdurchmesser herausgestellt werden [220]. Für endodontisch behandelte Prämolare, die mit unterschiedlichen Keramik- und Metallstiftsystemen (konfektionierten und individuell angefertigten) aufgebaut und metallischen Vollgusskronen, die ein 2mm-Ferrule-Design-Präparationsprinzip einhielten, restauriert wurden, konnten keine signifikanten Unterschiede in der Frakturresistenz nachgewiesen werden [221]. Eine Studie aus 2014 schlussfolgert, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit für Zähne, die mit konfektionierten Edelstahl- oder Glasfaserstiften restauriert wurden, deutlich geringer ausfallen als für Zähne mit carbonfaserverstärkten Stiften oder mit gegossenen Stift-Stumpf-Aufbauten [222].

In einer Vergleichsstudie von gegossenen Stiftsystemen aus Gold und glasfaserverstärkten Stiften in jeweiliger Kombination mit drei unterschiedlichen Befestigungsmaterialien, konnte die größte, statistisch signifikante Interaktion zugunsten der Bruchfestigkeit endodontisch behandelter Zähne bei der Kombination glasfaserverstärkte Stifte zementiert mit harzmodifiziertem Glasionomermertement herausgestellt werden [223]. Im Allgemeinen hat die Anwendung der Adhäsivtechnik den Vorteil des Ausgleichs des minimal-invasiven Vorgehens: Bei geringer verbliebener Restzahnschubstanz kann der Einsatz von

Adhäsivtechnik zur Unterstützung der Stabilität des restaurierten Zahns beitragen, beispielsweise indem untersichgehende Bereiche aufgefüllt werden und so als zusätzliche Retention des Stifts im präparierten Wurzelkanal dienen [33, 224]. Außerdem soll die bessere Abdichtung zwischen Stiftoberfläche und Kanalwand zur bestmöglichen Verringerung von Microleckagen beitragen: Beispielsweise konnten Zirkonoxid-Glasfaserstifte, die mit einem 3-Stufen-Total-Etch-System adhäsiv befestigt wurden geringere Mikroleckagen aufweisen als wenn nur einstufige oder zweistufige Etch-Adhäsiv-Systeme verwendet wurden bzw. andere Stiftmaterialien verwendet wurden (Quarzglasfaser-, Glasfaser-, Polyethylenfaserstifte) [225].

Bezüglich des Einfluss der Länge der unterschiedlichen Stiftsysteme als Einflussfaktor auf die Bruchfestigkeit endodontisch behandelter Zähne, finden sich unterschiedliche Studienergebnisse: Während eine ältere Studie aus 1984 aus der Summe der damaligen Literatur schlussfolgert, dass längere Stifte infolge der erhöhten Retention auch größere Verstärkung und weniger Beanspruchung für den jeweiligen Zahn bedeuten [213], ergab eine aktuelle Studie – deren Untersuchungsgruppe aus Prämolaren des Unterkiefers bestand –, dass am Beispiel von Titanstiften die besten Bruchlasten erreicht werden konnte, wenn Stifte in einer mittleren Länge von 7,5mm anstelle von kürzeren oder längeren Stiften gewählt wurde (5mm oder 10mm) [219].

Für Glasfaserstifte konnte in einer weiteren Studie kein Einfluss der Länge des Stiftsystems auf die versagensrelevante Bruchlast festgestellt werden [218]. Eine Studie zeigte keine signifikanten Unterschiede für die Überlebensraten verschiedener Stiftlängen

In einer anderen Studie konnte der Stiftlänge sogar kein Einfluss zugesagt werden, solange die beobachteten Prämolare mit dem Ferrule-Design (2mm) als Präparationsprinzip versorgt waren, welches als relevanter eingestuft wurde als die Stiftlänge selbst [226]. In mehreren Quellen lässt sich einvernehmlich die Angabe finden, dass die Stiftlänge so gewählt werden sollte, dass mindestens 3mm der Wurzelfüllung zur Sicherstellung des dichten apikalen Verschluss erhalten werden sollten [27, 33].

Die Stiftlänge spielt neben dem Stiftdurchmesser auch eine entscheidende Rolle für seine Retentionsfähigkeit [227-229]. Diese ergibt sich aus dem Produkt der Stiftlänge, des Stiftdurchmessers und der Zahl π [61]. Die Länge des Stifts hat eine stärkere Auswirkung auf die Retention als die Erhöhung des Durchmessers, weshalb bei der Wahl der Stiftlänge, größere Vorsicht angewendet werden sollte [227]. Dennoch führt die Wahl eines zu großen Stiftdurchmessers, ähnlich wie die eines Stifttyps mit zu hoher Bruchstabilität in

Relation zur endodontisch versorgten Wurzel, zur negativen Beeinflussung der Überlebenswahrscheinlichkeit [198]. Möglicherweise könnte dies mit der geringeren Restwanddicke um den präparierten Stiftkanal herum zusammenhängen: Besonders für Prämolare spielt diese Problematik im Zuge einer möglichen Bifurkation und des geringen Wurzeldurchmessers besonders der bukkalen Wurzel eine bedeutende Rolle, sodass eine Empfehlung zur Stiftinsertion in die palatinale Wurzel (und nicht die bukkale Wurzel) oberer Prämolaren formuliert wurde [230]. Auch einwurzelige Prämolare erfordern im Zuge ihrer Wurzelmorphologie mit möglicher seitlicher Einziehung der tendenziell eher mesialen Wand und der resultierenden Gefahr einer Perforation besondere Sporgfalt bei der Stiftinsertion [61, 194]. Die Expertise des Behandlers ist hinsichtlich der genauen Einschätzung des ehemaligen Pulpenkavums und der Wurzelmorphologie zur Vermeidung von postoperativen Komplikationen für die Stiftinsertion wesentlich [61].

Gewählt werden sollte also eine ausreichende Stiftlänge zu Retentionszwecken, bei möglichst geringem Stiftdurchmesser mit einer Bruchstabilität, die den geringen Durchmesser zwar kompensiert, der Wurzelmorphologie aber ähnlich ist, sodass sie diese nicht hinsichtlich einer Fraktur negativ beeinflusst [194].

Auch das Stiftdesign spielt für die Retentionsfähigkeit eine Rolle: Man unterscheidet im Allgemeinen Stifte mit Gewinden, die aktiv in die Wurzeloberfläche greifen, von solchen mit glatter Oberfläche, die rein über die zusätzliche Anwendung eines Befestigungszements wirken. Außerdem paralleelseitige Stiftsysteme und Formen, die sich nach apikal konisch verjüngen. Studien zeigen die Tendenz, dass die Stärke der Retention in ähnlicher Reihenfolge wie zuvor aufgezählt, absteigt. Befestigungszemente zeigen nur bei konischen Formen signifikanten Einfluss [229].

Ein weiterer Faktor, der signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate wurzelkanalbehandelter Zähne hat, ist das Vorhandensein seiner beiden approximalen Kontakte: Ng et al. identifizieren diesen als zweitwichtigsten Einflussfaktor für die signifikante Verbesserung der Überlebensrate in ihrer Metaanalyse aus dem Jahr 2010 ein [191]. Mit dieser Feststellung stimmen auch die Ergebnisse anderer Autoren überein [161, 163, 171, 231, 232]. Caplan et al. stellten dabei besonders heraus, dass zwei Approximalkontakte für wesentlich bessere Überlebensraten sorgte, als einer oder sogar kein Approximalkontakt, weshalb die Autoren schlussfolgernd raten, den Faktor der Zahnstellung bei der prognostischen Einschätzung zu berücksichtigen [231].

Weiterhin sollte als postendodontisch-prognostischer Faktor der parodontale Zustand des individuellen Zahns berücksichtigt werden: Eine Studie aus dem Jahr 2006 kommt zu dem Ergebnis, dass marginaler Knochenabbau den periapikalen Zustand wurzelkanalgefüllter Zähne signifikant beeinflusst [233]. Dieses Ergebnis wird durch eine weitere Studie belegt in der ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer marginalen und einer apikalen Parodontitis nachgewiesen wird [234]. Die Anzahl der apikalen Parodontitiden häufte sich bei Zähnen, deren marginales Knochenniveau unterhalb des koronalen Niveaus der Wurzelfüllung lag. Parodontal unbehandelte Zähne wiesen signifikant mehr apikale Parodontitiden auf als jene, die eine parodontale Behandlung erhalten haben. Die Autoren schlussfolgern, dass mit Hilfe qualitativ hochwertiger Wurzelfüllungen und koronalen Restaurationen „[...]die Ausbreitung von Infektionen über den parodontal-endodontischen Weg durch parodontale Infektionskontrolle [...]“ [233] verhindert werden sollen.

3 Material und Methodik

3.1 Patientenkollektiv & Beobachtungszeitraum

Für die Datensammlung dieser retrospektiven Studie wurde ein vom Leiter der Abteilung für angewandte Sachbearbeitung der Zahnklinik der Universitätsmedizin Mainz zur Verfügung gestellter Pool aus pseudonymisiertem Datenmaterial über 3239 Prämolare untersucht:

1411 der insgesamt übergebenen Datenmenge von 3239 Zähnen waren erste Prämolare, die somit überhaupt für die Statistik der hier angefertigten Dissertation zur Auswertung geeignet waren. Diese 1411 Zähne teilen sich auf einen Patientenpool aus 972 männlichen und weiblichen Patienten mit bleibenden ersten Prämolaren auf, da manche Patienten mit verschiedenen ersten Prämolaren, also mehreren Zähnen, in die Auswertung eingegangen sind. Dennoch wurde jeder Zahn einzeln beobachtet.

Alle der darin enthaltenen Patienten bzw. deren Prämolare hatten im Zeitraum vom 01.01.2005 - 29.06.2017 eine Trepanation in der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung der Klinik und Polikliniken für Zahn- Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin Mainz als Beginn der Wurzelkanalbehandlung erhalten.

Der tatsächliche Beobachtungszeitraum der eingegangenen Prämolaren erstreckt sich vom erstmöglichen röntgenologisch belegbaren Termin der Trepanation am 14.01.2008 bis zum 20.07.2021 als letztmöglichem Vorstellungstermin, da an diesem Datum alle Patienten zum letzten Mal auf Wiedervorstelligkeit geprüft wurden. Ziel war es die beobachteten Zähne über einen möglichst langen Zeitraum am ehesten sowohl röntgenologisch als auch schriftlich möglichst lückenlos nachverfolgen zu können um anschließend eine Einschätzung zur Überlebenswahrscheinlichkeit abgeben zu können.

Bis zum Zeitpunkt der letzten dokumentierten Beobachtung mussten die Wurzelkanalbehandlungen fertiggestellt, röntgenologisch dokumentiert und mindestens einmal röntgenologisch nachkontrolliert worden sein.

Des Weiteren wurden die in der EDV der Universitätsmedizin schriftlich dokumentierten präoperativen, intraoperativen und postoperativen Behandlungsparameter für die anschließende Auswertung erfasst. Sowohl die röntgenologisch erhobenen Befunde als auch die schriftlich aus der Patientenkartei erfassten Daten wurden in eine eigens dafür angefertigte Datenbank in Form einer Excel-Tabelle übertragen.

Gemäß dem vertretenen Behandlerklientel in der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung, wurden die jeweiligen Wurzelkanalbehandlungen von Behandlern mit unterschiedlicher endodontischer Behandlungserfahrung durchgeführt: Behandlungen spezialisierter Oberärzte, angestellter Zahnärzte oder Assistenz Zahnärzte gingen gleichermaßen in die Statistik ein, wie jene der im Studentenkurs beaufsichtigten Studenten: Hier erfolgte die Trepanation immer durch einen bereits approbierten, erfahrenen Zahnarzt. Die Aufbereitung des Kanalsystems und die Wurzelfüllung, sowie die anschließende definitive Restauration, erfolgte dann durch den Studenten oder die Studentin.

Eine Mischung aus gesetzlich - und privat versicherten Patienten, die ambulant behandelt wurden, bildeten die Basis des ausgewerteten Patientenkollektiv.

3.2 Auswertungsgrundlage & Einschlusskriterien

In Zusammenarbeit mit Frau Professor Willershausen wurde zu Beginn der Datenerhebung eigens eine Excel-Datei zur Auswertung erstellt, die als Grundlage der Erhebung aller relevanten vorliegenden patienten- bzw. zahnspezifischen Daten diente:

Die erhobenen Daten setzen sich aus anonymisierten Patientendaten wie dem Geschlecht und dem Alter des Patienten bei Behandlung (berechnet ab dem ersten des Monats des jeweiligen Geburtsdatums und des Geburtsjahrs) und zahnspezifischen Daten wie der Zugehörigkeit zum Quadranten oder zum Ober- oder Unterkiefer, aber auch dem Vitalitäts- und Perkussionszustand bei Behandlungsbeginn zusammen. Außerdem wurden das Leistungsdatum der Trepanation und der Wurzelfüllung sowie der zugehörige röntgenologisch erhobene periapikale Zustand bei Behandlungsbeginn aus den vier Grundaufnahmen (Diagnoseaufnahme, Messaufnahme, Masterpointaufnahme und Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung) ermittelt und inklusive des individuellen Datums erfasst. Auch der Beherdungsgrad für den Zeitpunkt der letzten röntgenologischen Verlaufskontrolle wurde ermittelt und dokumentiert. Anhand dieser Daten ergab sich der rein röntgenologisch belegbare Beobachtungszeitraum für jeden einzelnen Zahn.

Davon abgegrenzt wurde ebenso der rein schriftlich dokumentierte Beobachtungszeitraum für jeden beobachteten Zahn festgehalten, der sich vom Trepanationsdatum bis zum Zeitpunkt der letzten schriftlich dokumentierten Vorstellung bzw. Befundung des Patienten erstreckt. Weiterhin wurde die Art der definitiven Restauration nach Wurzelkanalfüllung und auch der Zeitpunkt des Einsetzens erhoben. Wenn eine Extraktion im Beobachtungszeitraum stattgefunden hatte, wurde diese mit deren Begründung ebenfalls

inklusive des individuellen Datums erfasst. Weiterhin wurde die Art der restaurativen Versorgung und deren Zeitpunkt nach durchgeführter Extraktion erhoben.

Anhand des Kriteriums der größtmöglichen Vollständigkeit aller zuvor genannten Parameter konnten aus dem Untersuchungsgut von 1411 ersten Prämolaren und deren teilweise unvollständigen Datensätzen ein den Kriterien entsprechendes, für die Statistik verwertbares Patientengut von 398 ersten Prämolaren von 398 verschiedenen Patienten selektiert werden.

Die Einschätzung hinsichtlich der apikalen Beherdung zum Zeitpunkt des Beginns der endodontischen Behandlung und während der letzten dokumentierten Verlaufskontrolle, wurde röntgenologisch in Anlehnung an den PAI („periapical Index“) nach Ørstavik et al. (1968) erhoben.

Anhand des jeweiligen Aufnahmedatums der zuvor genannten Röntgenkontrollaufnahmen konnte ein rein röntgenologisch dokumentierter/belegter Beobachtungszeitraum individuell festgehalten werden und vom Beobachtungszeitraum welcher rein schriftlich in der EDV der in der Mainzer Zahnklinik gängigen Behandlungssoftware „VISIdent“ (BDV Branchen-Daten-Verarbeitung GmbH, Holzwickede, Deutschland) dokumentiert wurde, und oft den röntgenologischen Zeitraum übertroffen hat, abgegrenzt werden.

Für alle in die Statistik eingegangenen ersten Prämolare gilt als Voraussetzung zur Berücksichtigung in dieser Untersuchung, dass sowohl zum Zeitpunkt der Anfertigung der Wurzelkanalbehandlung (im patientenindividuellen Zeitraum zwischen Trepanation und WF) mindestens eine röntgenologische Aufnahme des jeweiligen Zahns vorliegt, wie auch mindestens eine röntgenologische Verlaufskontrolle in einem individuellen Zeitabstand nach dem zuerst genannten Röntgenbild. Jeder erste Prämolare wurde jedoch mindestens drei Monate beobachtet.

Diese Röntgenaufnahmen dienen der Beurteilung des präendodontischen apikalen Zustands, in dem der Prämolare in die Behandlung eintritt, bzw. dem Vergleich mit der letzten vorliegenden postendodontischen röntgenologischen Verlaufskontrolle, um retrospektiv eine Aussage über die Tendenz zum „Behandlungserfolg“ oder „Misserfolg“ treffen zu können.

3.3 Ausschlusskriterien

Zum Ausschluss der Patienten aus der Statistik haben das Nichtvorhandensein röntgenologischer Aufnahmen zum Zeitpunkt des Behandlungsbeginns (Trepanations- oder WF-Zeitpunkt) und/oder mindestens einer Verlaufskontrolle geführt. Dies galt ebenso für Röntgenaufnahmen unzureichender Qualität oder Nichtdarstellung der apikalen Region. Ein häufiger Grund, weshalb Patienten nicht in die Studie aufgenommen wurden, war, dass nur eine alleinige Sitzung beispielsweise im Rahmen des zahnärztlichen Notdienstes in der Uniklinik Mainz stattgefunden hatte und der Patient anschließend nie wieder vorstellig wurde. Einige Zähne konnten auch infolge des Nichterscheinens der Patienten nach durchgeführter Wurzelkanalbehandlung oder des alleinigen Erscheinens des Patienten zur anderweitigen Behandlung, beispielsweise im Rahmen des Notdienstes der Zahnklinik, nicht weiter beobachtet werden, da es hier keinen Hinweis auf den Zustand oder den Verbleib des untersuchten Zahns gab.

Bei jenen Patienten, die vor dem Jahr 2008 ihre Wurzelkanalbehandlung erhalten hatten, ergab sich die Problematik, dass erst ab dem Jahr 2008 infolge einer Umstellung des Systems alle röntgenologischen Aufnahmen in der zur Untersuchung angewandten Datenbank Sidexis XG 2.6.3 Systems (Dentsply Sirona, Charlotte, USA) eingepflegt wurden. Deshalb konnten erst Wurzelkanalbehandlungen ab dem Jahr 2008 röntgenologisch nachvollzogen und aufgenommen werden.

Einige Patienten konnten aus anderen Gründen nicht in die Statistik aufgenommen werden: Systemische Erkrankungen oder Allgemeinerkrankungen schwerer Art wie geistige Behinderung oder Zustand einer vorherrschenden Krebserkrankung, wodurch der allgemein gängige Behandlungsablauf nicht eingehalten werden konnte oder zu einer Extraktion zu früherem Zeitpunkt geführt haben, die nicht unmittelbar mit der endodontischen Behandlung im Zusammenhang stehen, haben ebenfalls zum Ausschluss geführt. Obwohl diese Patienten formal also alle Parameter zur Datenaufnahme erfüllt hätten, sind oben genannte, für die Statistik unberücksichtigt geblieben.

In manchen Fällen wurde der betreffende Zahn auch bereits zum Trepanationszeitpunkt zur Extraktion erklärt (Gründe wie Perforation, Verdacht auf Längsfraktur oder massive parodontale Vorschädigung), aber dennoch „zu palliativem Zweck“ wurzelgefüllt. Auch dann erfolgte keine Aufnahme in die Studie.

3.4 Was nicht untersucht wurde

Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung kann laut Literatur von einigen Faktoren abhängen, die in dieser Studie nicht berücksichtigt bzw. erhoben wurden:

Dazu gehören unter anderem der individuelle Schwierigkeitsgrad einer Wurzelkanalbehandlung infolge der Kanalkrümmung, Kanalkonfiguration oder die Kanalzugänglichkeit. Auch der prognostische Einfluss der individuellen Qualität der Wurzelkanalfüllung wurde im Sinne der Länge der Wurzelfüllung (Überpressung/Unterfüllung), der Homogenität der Wurzelfüllung und welche Aufbereitungs- bzw. Kondensationsmethode stattgefunden hat, nicht berücksichtigt. Ob eine rein maschinelle oder kombiniert maschinell-manuelle Therapie stattgefunden hat, wurde nicht unterschieden. Es gingen gleichermaßen ein- und zweikanalige erste Prämolare in die Statistik ein und wurden gleichermaßen anschließend miteinander verglichen. Die unterschiedliche Ausdehnung der periapikalen Läsion zu Behandlungsbeginn wurde nicht berücksichtigt.

In dieser Studie konnte nicht nachvollzogen werden wie das individuelle Spülprotokoll einer jeden Wurzelkanalbehandlung ausgesehen hat (Menge, Art der Spülflüssigkeit, Schallaktivierung ja oder nein). Ebenso wurden die individuelle Anzahl der Medikamenteneinlagen und die Art der Einlage nicht berücksichtigt. Auch wurde nicht untersucht, ob der Zahn einen provisorischen Verschluss erhalten hatte und welcher Art er war. Es wurde nicht unterschieden welcher Behandler mit welcher Erfahrung die individuelle Behandlung durchgeführt hat. Auch ob die Trepanation durch eine bestehende (Teil-)Krone erfolgte, wurde nicht berücksichtigt. Auch wurde nicht berücksichtigt, wie der Parodontalzustand des einzelnen Zahns oder des Gesamtgebiss zum Behandlungszeitpunkt gewesen ist. Ebenso nicht ob und wie viele Approximalkontakte der behandelte Zahn aufweisen konnte, beziehungsweise wie viele Zähne des Patienten bereits verlorengegangen waren oder wie die Mundhygiene des Patienten einzuschätzen war. Auch die individuelle Kavitätengröße wurde bei der Erhebung nicht ausdrücklich berücksichtigt.

Im Einzelnen sind laut Literatur alle zuvor genannten Faktoren mehr oder weniger prognostisch einflussnehmend, konnten aber teilweise infolge der fehlenden oder unzureichenden Dokumentation, oder auch der schweren Vergleichbarkeit untereinander nicht einbezogen werden.

3.5 Auswertung der Röntgenbilder

Die in die Auswertung eingeflossenen röntgenologischen Intraoralaufnahmen und Panoramaschichtaufnahmen zur Erfassung des prä- und postendodontischen Beherdungsgrads, wurden je nach Aufnahme am ehesten mit folgenden Geräten der Universitätsmedizin Mainz, Standort Zahnklinik, Gebäude 911 aufgenommen. Die röntgenologischen Aufnahmen wurden unabhängig vom Anfertigungsort unmittelbar nach der Durchführung in der jeweiligen Patientenkartei abgespeichert und wurden so für die spätere Untersuchung zugänglich gemacht. Zur Auswertung der Röntgenbilder wurde die Software Sidexis XG 2.6 Systems (Dentsply Sirona), und ein Monitor, der der Norm DIN 6868-157 (2014) entspricht, genutzt. Zum Zeitpunkt der Interpretation der Röntgenbilder wurde darauf geachtet störende Lichtquellen zu beseitigen. Alle in diese Arbeit eingegangenen Röntgenaufnahmen wurden von einem einzigen Betrachter evaluiert.

Um zu gewährleisten, dass die Objektivität der röntgenologischen Befundung gewahrt bleibt, wurde in diagnostisch unklaren Grenzfällen die jeweiligen Röntgenbilder gesammelt, und innerhalb des jeweils nächsten Fachgesprächs mit Hilfe der Erfahrung von Frau Professor Willershausen der jeweils passenden Kategorie zugeordnet.

Über die Suche des individuellen Patientennamen im zuvor genannten Röntgenprogramm, konnte die jeweilige Röntgenkartei der Patienten geöffnet und aus dem Archiv die für die Auswertung relevanten Aufnahmen (Lokalisation und Zeitfenster) ausgesucht und anschließend befundet werden. Die jeweiligen Röntgenaufnahmen der Ausgangssituation sowie die letzte postendodontische Röntgenverlaufskontrolle wurden zur Beurteilung des prä- und postendodontischen periapikalen Zustands analysiert:

Die Einschätzung der röntgenologisch sichtbaren Veränderungen erfolgte in Anlehnung an den periapikalen Index (PAI) nach Ørstavik et al. 1986. Sowohl die Differenz des Ausmaßes des Beherdungsgrads im unmittelbaren Vergleich der prä- und letzten postendodontischen Aufnahme wie auch die Veränderungen des Parodontalspalts flossen in die röntgenologische Evaluation ein. Außerdem wurde erhoben anhand welcher Aufnahmeart die individuelle Evaluation stattgefunden hat (OPG, Halbseiten-PSA, Einzelzahnfilm). Röntgenaufnahmen, die zwar das Interessengebiet abbildeten, aber dies nur teilweise darstellten oder von mangelhafter Qualität waren, wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Über die röntgenologischen Parameter hinaus, basiert die Auswertung auf dem in der EDV schriftlich dokumentierten Behandlungsverlauf. Hierzu wurde die jeweilige

Patienten-ID aus der uns übergebenen Patientenkartei manuell in die in der Zahnklinik Mainz gängige Software für Praxismanagement VISIdent (BDV Branchen-Daten-Verarbeitung GmbH, Holzwickede, Deutschland) übertragen und anhand des sorgfältig dokumentierten EDV- Behandlungsverlaufs alle notwendigen Parameter, die nicht röntgenologisch ablesbar waren, aber schriftlich erhoben wurden, in einer vorhandenen Tabelle erfasst werden. Diese unter Anleitung von Frau Professor Willershausen eigens für die Untersuchung erstellte Tabelle im Betriebssystem Microsoft® Excel® für Microsoft 365 MSO (Version 2312; Build 16.0.17126.20078; Microsoft Corporation, Bundesstaat Washington, USA) in der zu Beginn im gemeinsamen Fachgespräch alle einzelnen für die Untersuchung relevant erscheinenden Komponentenreiter zusammengetragen wurden, diente als Vorlage zur Katalogisierung der patientenindividuellen Daten.

Folgende Komponentenreiter wurden als untersuchungsrelevant festgelegt:

- Geschlecht des Patienten
- Alter des Patienten bei Behandlung
- (berechnet ab dem ersten Tag des Monats des jeweiligen Geburtsdatums und des Geburtsjahrs)
- Lokalisation des untersuchten Zahns im Gesamtgebiss (nach Quadranten und nach Kiefern)
- Schriftlich dokumentierte klinische Symptomatik des Zahns bei Behandlungsbeginn (Vitalität und Perkussion (in vertikaler Richtung))
- präendodontischer Beherdungsgrad: röntgenologischer Einschätzung der apikalen Beherdung vor/während der endodontologischen Behandlung,
- Leistungsdatum der Trepanation
- Leistungsdatum der Wurzelfüllung
- resultierende Zeitspanne aus den beiden zuvor erhobenen Parametern (Trepanation bis Wurzelfüllung)
- postendodontischer Beherdungsgrad: bei einer röntgenologisch dokumentierten Verlaufskontrolle „Beherdung ja oder nein“
- definitive Restauration nach WKB
- Hat eine Versorgung mit Stift stattgefunden
- Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Einsetzen der definitiven Restauration
- Hat eine Extraktion stattgefunden (wenn ja, wann im Beobachtungszeitraum)
- Wenn Extraktion stattgefunden, welche Ursache
- Ggf. restaurative Versorgung nach durchgeführter Extraktion
- rein röntgenologisch dokumentierter/belegbarer Beobachtungszeitraum
- rein schriftlich dokumentierter Beobachtungszeitraum in der EDV der in der Mainzer Zahnklinik gängigen Behandlungssoftware VISIdent, (BDV Branchen-Daten-Verarbeitung GmbH, Holzwickede, Deutschland)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung flossen von jedem in die Auswertung eingegangenen ersten Prämolaren also mindestens ein Bild vom Zeitraum der Durchführung der Wurzelkanalbehandlung ein. Dabei handelte es sich in der Regel entweder um eine:

- Diagnoseaufnahme
- Messaufnahme
- Masterpointaufnahme
- Kontrollaufnahme nach WF

Daneben floss mindestens eine weitere postendodontische, röntgenologische Verlaufskontrolle in die Auswertung ein.

Diese beiden Röntgenaufnahmen wurden beide getrennt voneinander hinsichtlich des zu diesem Zeitpunkt vorliegenden apikalen Zustand befundet und dieser Zustand in der Tabelle dokumentiert.

Der der maximal röntgenologisch belegte Zeitraum in der ganzen Untersuchung betrug 11,93 Jahre.

Für jeden Zahn wurde außerdem der individuell röntgenologisch belegte Zeitraum definiert und erfasst, und weiterhin der häufig darüberhinausgehende schriftlich dokumentierte Beobachtungszeitraum anhand der sorgfältigen Dokumentation innerhalb der EDV in der Tabelle gelistet.

Nach durchgeführter WF wurde die Art der definitiven Restauration und der Zeitpunkt des Einsetzens dieser aufgenommen. Die definitive Restauration fand besondere Beachtung im Sinne der genauen Dokumentation der Verwendung von Stift-Stumpf-Aufbauten individualisierter oder konfektionierter Art und deren Material.

Es wurde untersucht, ob im schriftlich oder röntgenologisch belegbaren Untersuchungszeitraum eine Extraktion des beobachteten Zahns stattgefunden hat. Wenn ja, wurde der Zeitpunkt und die restaurative Versorgung nach Extraktion dokumentiert.

Falls zum letzten röntgenologisch oder schriftlich belegbaren Vorstellungstermin keine Extraktion des beobachteten Zahns nachvollzogen werden konnte, wurde an diesem Zeitpunkt das Ende des individuellen Beobachtungszeitraums definiert.

3.6 Angewandte Erfolgsdefinition

Als Grundlage dieser Arbeit wurden zwei Erfolgsdefinitionen definiert, den unterschiedliche Kriterien zugrunde liegen:

Es wird die rein funktionelle Erfolgsdefinition, die das bloße Überleben des Zahns in der Mundhöhle in den Mittelpunkt stellt, von einer rein röntgenologisch belegbaren Erfolgsdefinition unterschieden.

Die funktionelle Erfolgsdefinition betrachtet unter der Voraussetzung der klinischen Symptombefreiheit des Patienten das Überleben des Zahns in der Mundhöhle, welches als funktioneller Zugewinn im Zuge der Belastbarkeit als Teil des Kausystems des Patienten gewertet wird.

Davon unterschieden wird die anhand der röntgenologisch ermittelbaren Kriterien gemessene Erfolgsdefinition: Diese röntgenologische Evaluation wurde in Anlehnung an den periapikalen Index (PAI) nach Ørstavik et al. (1986) getroffen, da dieser Index die röntgenologisch ermittelte Größe einer periapikalen Läsion auch auf der Basis histologischer Einschätzung berücksichtigt [117].

Anhand des Vergleichs des Beherdungsgrads, der bei der letzten postendodontischen Röntgenverlaufskontrolle in Anlehnung an den PAI nach Ørstavik et al. 1986 festgestellt werden konnte, mit dem Zustand des röntgenologisch festgestellten Beherdungsgrads (ebenfalls in Anlehnung an den PAI nach Ørstavik et al. 1986) bei Behandlungsbeginn (Diagnoseaufnahme oder Messaufnahme), erfolgte die abschließende Einschätzung der knöchernen Regeneration und ob der betreffende erste Prämolare zum Zeitpunkt der letzten Röntgenverlaufskontrolle immer noch eine Beherdung vorzuweisen hatte.

War dies der Fall, wurde ebenso die Einschätzung getroffen, ob die sekundäre, postendodontische Beherdung ihren Ursprung tendenziell eher in einer primär endodontalen (LEO) oder primär parodontalen Ursache (LPO) oder in einer kombinierten Ursache (kombinierte Paro-Endo-Läsion) hatte.

Wies ein beobachteter Zahn zum Zeitpunkt der postendodontischen Röntgenverlaufskontrolle eine Beherdung derselben Größe bzw. desselben Schweregrads oder sogar zunehmender Größe bzw. Schweregrads auf, verglichen mit dem Zeitpunkt des Behandlungsbeginns, wurde diese Wurzelkanalbehandlung als Misserfolg kategorisiert.

Erst wenn eine Beherdung zum Zeitpunkt der postendodontischen Röntgenverlaufskontrolle (z.B. PAI 2) eine deutliche Ausheilungstendenz verglichen mit dem Beherdungsgrad der Ursprungssituation aufwies (beispielsweise PAI 3-5), oder sogar keinerlei Beherdung

(PAI 1) mehr feststellbar war (vollständige Ausheilung), wurde eine Wurzelkanalbehandlung als Erfolg deklariert.

Alle Zähne, die im Beobachtungszeitraum als „nicht erhaltungswürdig“ deklariert wurden bzw. bei denen eine Extraktion im Beobachtungszeitraum stattgefunden hatte, galten in der Auswertung auch als Misserfolg.

Die Entscheidung die Erfolgsdefinition wie oben genannt zu treffen, rührte daher, dass im Zuge der Erhebung der Daten und der anschließenden Auswertung aufgefallen war, dass viele der beobachteten Prämolare, nur einen kürzeren Zeitraum röntgenologisch nachverfolgt werden konnten und ungeachtet ihres zuletzt eingeschätzten Beherdungsgrads darüber hinaus aber laut schriftlich dokumentierter Parameter viel länger erhalten wurden, ohne dass weitere Komplikationen im Beobachtungszeitraum schriftlich dokumentiert wurden. Dies galt auch oder insbesondere für Zähne, die zum Zeitpunkt der letzten Röntgenkontrolle als beherdet deklariert wurden.

Diese Erfolgsdefinition spiegelt den Behandlungsalltag in der freien Praxis gut wider:

Im Zuge einer Röntgenkontrolle des betreffenden Zahns oder seiner unmittelbaren Umgebung ergibt sich gelegentlich als Zufallsbefund, dass ein vor einiger Zeit wurzelkanalbehandelter Zahn eine röntgenologische Beherdung immer noch oder erneut aufweist, obwohl der Patient klinisch keine Beschwerden feststellen kann. In der Theorie kann der betroffene Zahn damit zwar nach röntgenologischen Kriterien bereits ein Misserfolg sein, während er gleichzeitig infolge der klinischen Beschwerdefreiheit immer noch in der Mundhöhle in situ ist und der Kaufunktion des Patienten dient, was nach den Maßstäben der funktionellen Erfolgsdefinition als Erfolg zu werten wäre.

Im klinischen Alltag stellt sich das gleichzeitige Auftreten von Erfolgs- bzw. Misserfolgsereignis beispielsweise folgendermaßen dar: Während für den Behandler, der sich über die möglichen Folgen dieser sekundären Beherdung im Klaren ist, im Idealfall die Revision zur Ausheilung dieser Beherdung naheliegt, und für den Behandler zu diesem Zeitpunkt die Wurzelkanalbehandlung bereits prädiktiv eher als nicht erfolgreich zu werten wäre, fällt die Reaktion des Patienten dagegen oft tendenziell positiv aus: Solange der Zahn beschwerdefrei im Kausystem des Patienten erhalten ist, liegt aus Sicht des Patienten eigentlich kein Misserfolg, sondern ein Erfolg vor und er spürt eher keine Dringlichkeit eine erneute Wurzelkanalbehandlung durchzuführen.

Unter dem Aspekt des Verständnisses einer endodontischen Therapie als möglichst langanhaltende zahnerhaltende Therapie, zusammen mit der eher unmissverständlichen,

auch internationalen, Vergleichbarkeit des Stattfindens bzw. Nichtstattfindens einer Extraktion, lässt sich die Anwendung dieser funktionellen Erfolgsdefinition verargumentieren. Gleichzeitig spiegelt die rein röntgenologische Evaluation erst wider, ob die endodontische Therapie auch das Ziel des Nichtentstehens oder sogar des Kurierens einer möglichen periapikalen Osteolyse erreichen konnte. Diese Erkenntnis hat maßgeblich dazu beigetragen, dass in der folgenden Arbeit beide Erfolgsdefinitionen getrennt voneinander angewendet und miteinander verglichen werden.

3.7 Statistisches Vorgehen

Nach der röntgenologischen Evaluation und dem Zusammenfügen aller schriftlich und röntgenologisch erhobenen Parameter jedes beobachteten Prämolaren in einer Tabelle des Betriebssystems Microsoft Excel (365 MSO, Version 2211 Microsoft Corporation, Bundesstaat Washington, USA) erfolgte die Überführung der Daten zur statistischen Analyse mittels des Programms IBM SPSS Statistics, Version 27 für Windows 10 (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

In Kooperation mit dem Institut für medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin Mainz (Betreuer: Robert Kuchen), erfolgte die statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Die Datenanalyse erfolgt mittels verschiedener Tests. Im ersten Teil erfolgt die Auswertung allgemeiner Daten mittels deskriptiver Statistik: Absolute und relative Häufigkeiten der erhobenen Parameter werden berechnet und mit Hilfe verschiedener Histogramme dargestellt. Ebenso werden aus den Daten statistische Kennwerte wie Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte und die Standardabweichung ermittelt.

Im zweiten Teil der statistischen Auswertung werden Survival-Analysen durchgeführt. Um den prognostischen Einfluss verschiedener Variablen auf die Überlebenszeit eines ersten Prämolaren auf statistische Signifikanz zu testen, wird die Kaplan-Meier-Methode mit dem Log-Rang-Test (engl. Log-Rank-Test) angewendet. Diese liefern Werte (p) zur Einschätzung der statistischen Signifikanz verschiedener Variablen auf die Überlebenszeit. Als statistische signifikant gelten Ergebnisse mit Werten

$$p \leq 0,05$$

Des Weiteren wird zur Einschätzung der Einflussfaktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit eine graphische Darstellung in Form einer Überlebensfunktion nach Kaplan-Meier generiert.

Um den Einfluss mehrerer Variablen gleichzeitig bzw. skalare Einflussfaktoren (nicht gruppierte Variablen z.B. Alter) auf das Überleben zu bewerten, wird die Cox Regression Analyse angewendet. Hierbei gilt ebenfalls das Signifikanzniveau von

$$p \leq 0,05$$

Die Survivalanalysen ergeben ein 95%-Konfidenzintervall mit einem Standardfehler. Dieser Wert kann als mittlere Überlebensprognose verstanden werden und ist meist bezogen auf einen Einflussfaktor. Die mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit liegt damit zwischen der oberen und unteren Grenze des 95%-Konfidenzintervalls. Zudem ergibt sich eine Hazard-Ratio (nur bei Cox-Regression Analyse) zu jedem Einflussfaktor. Mit dieser kann die Gewichtung der Einflussfaktoren in Bezug auf einen zuvor bestimmten Referenz-Einflussfaktor bewertet werden. Eine Hazard-Ratio eines Einflussfaktors $HR < 1$ ist als positiv im Verhältnis zum Referenzfaktor zu bewerten. Während eine $HR > 1$ als negativ im Verhältnis zum Referenzfaktor zu sehen ist.

Besonders hervorzuheben ist, dass die Survivalanalysen eine statistische Prognose und Einschätzung der Einflussfaktoren unabhängig vom Beobachtungszeitraum liefern können. Als Ereignis wird entweder ein Misserfolg (entsprechend der Erfolgsdefinition) oder das Ende des Beobachtungszeitraums definiert. Weitere Informationen zur Kaplan-Meier-Methode und der Cox-Regression-Analyse sind in Quelle [235] zu finden.

Für die Datenerhebung in dieser Arbeit mittels SPSS sind eindeutige Variablen definiert worden. Diesen wurden eindeutige Werte zugewiesen; kategorial oder skalar. Ein Beispiel für eine kategoriale Variable stellt das patientenspezifische Geschlecht mit den Werten männlich und weiblich dar. Ein Beispiel für eine skalare Variable ist das Patientenalter. Ein Auszug aus SPSS der Variablen ist in Abbildung 11 dargestellt.

	Name	Typ	Breite	Dezim.	Beschreibung	Werte	Fehlend	Spalten	Ausrichtung	Messniveau
1	geschlecht	Numerisch	8	0	Geschlecht	{1, männlich}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
2	Zahn	Numerisch	8	0	Zahn	Ohne	Ohne	8	Rechts	Nominal
3	OK_UK	Numerisch	8	0	Lokalisation	{1, OK}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
4	Alter	Numerisch	8	2	Alter des Patienten	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch
5	TR_WF	Numerisch	8	2	Zeitspanne Trepanation bis Wurzelfüllung	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch
6	Vit_vor	Numerisch	8	0	Praendodontischer Vitalitätsgrad	{1, Vit +}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
7	Perk_vor	Numerisch	8	0	Praendodontische Perkusionsempfindlichkeit	{1, Perk +}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
8	Beob_rad	Numerisch	8	2	röntgenologischer Beobachtungszeitraum	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch
9	Beob_vis	Numerisch	8	2	schriftlich dokumentierter Beobachtungszeitraum	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch
10	apV_vor	Numerisch	8	0	Praendodontische apikale Beherdung	{1, ja}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
11	apV_nach	Numerisch	8	0	Postendodontische apikale Beherdung (Bezug auf Beobachtungszeitraum radiologisch)	{1, ohne Beherdung}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
12	t_WF_Vers	Numerisch	8	2	Zeitspanne Wurzelfüllung bis Versorgung in Tagen	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch
13	Vers_WK	Numerisch	8	0	Versorgung Wurzelkanal	{0, kein Stift}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
14	Vers_AF	Numerisch	8	0	Aufbauauffüllung	{1, ja}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
15	Vers_KR	Numerisch	8	0	Versorgung	{1, Komposit-Füllung}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
16	Ex	Numerisch	8	0	Extraktion	{0, nein}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
17	Vers_ex	Numerisch	8	0	Versorgung nach Extraktion	{1, Lücke unversorgt}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
18	t_bis_Ex	Numerisch	8	2	Zeitspanne bis Extraktion (oder Ende Beobachtungszeitraum)	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch
19	Grund_Ex	Numerisch	8	0	Grund der Extraktion	{1, Karies auf Knocheniveau}...	Ohne	8	Rechts	Nominal
20	Alters_kat	Numerisch	8	0	Altersgruppen	{1, bis 20-Jährige}...	Ohne	12	Rechts	Nominal
21	TR_WF_kat	Numerisch	8	2	Gruppierte Zeitspanne Trepanation bis Wurzelfüllung	{00, bis 1 Monat}...	Ohne	11	Rechts	Nominal
22	t_WF_ers_mon	Numerisch	8	2	Zeitspanne Wurzelfüllung bis Versorgung in monaten	Ohne	Ohne	13	Rechts	Metrisch
23	t_WF_ers_kat	Numerisch	8	2	gruppierte Zeitspanne Wurzelfüllung bis Versorgung in monaten	{00, bis 1 Monat}...	Ohne	15	Rechts	Nominal
24	Ereignis	Numerisch	8	0	Erfolgsdefinition	{0, keine Auffälligkeit im Beobachtungszeitrau...	Ohne	8	Rechts	Nominal
25	t_bis_Ereignis	Numerisch	8	2	Zeit bis Ex oder Leo oder LPO oder Parendo oder Beobachtungszeitraum vis	Ohne	Ohne	8	Rechts	Metrisch

Abbildung 11: Auszug der untersuchten Variablen dieser Arbeit aus SPSS

4 Ergebnisse

Anhand der schriftlichen Dokumentation in der digitalisierten Patientenkartei und den dem Patienten zugehörigen Röntgenaufnahmen, wurden retrospektiv 398 endodontisch behandelte erste Prämolare von 398 verschiedenen Patienten, die mindestens einer weiteren röntgenologischen Verlaufskontrolle unterzogen wurden, nachuntersucht. Für jeden in der Studie berücksichtigten ersten Prämolaren ($n = 398$) lassen sich zwei verschiedene Beobachtungszeiträume erfassen: Zum einen der röntgenologische Beobachtungszeitraum, welcher anhand des ersten und des jeweils zuletzt vorliegenden Röntgenbilds in der betreffenden Region definiert wird, und zum anderen der rein schriftlich dokumentierte Beobachtungszeitraum anhand der Dokumentation des Behandlers oder der Assistenz in der Patientenkartei. In einigen Fällen stimmt der röntgenologische Beobachtungszeitraum sehr genau mit dem schriftlichen Beobachtungszeitraum überein. In vielen Fällen wurde jedoch trotz Wiedervorstellung des/der betreffenden Patienten/-innen in der interessierenden Region kein neues Röntgenbild angefertigt, obwohl die schriftlichen Befunde über den Zeitraum der röntgenologischen Belege hinaus nachvollziehen lassen, dass der betreffende Zahn symptomlos in situ ist. Deshalb ergeben sich in den meisten Fällen Abweichungen dieser beiden Beobachtungszeiträume: Der röntgenologisch belegte Beobachtungszeitraum beträgt im Durchschnitt circa 3,08 Jahre, während der schriftlich dokumentierte Beobachtungszeitraum im Durchschnitt 4,31 Jahre ist. Röntgenologisch wurde ein maximaler Beobachtungszeitraum von 11,93 Jahren festgestellt, während der maximale schriftlich dokumentierte Beobachtungszeitraum 12,01 Jahre beträgt.

4.1 Deskriptive Statistik

4.1.1 Verteilung nach Geschlecht der Patienten

Die Geschlechterverteilung innerhalb des erfassten Patientenpools stellt sich als sehr ausgeglichen dar: 50,25% ($n = 200$) der untersuchten Patienten waren weibliche Personen, 49,75% der beobachteten Zähne ($n = 198$) waren männliche Patienten (siehe Abbildung 12).

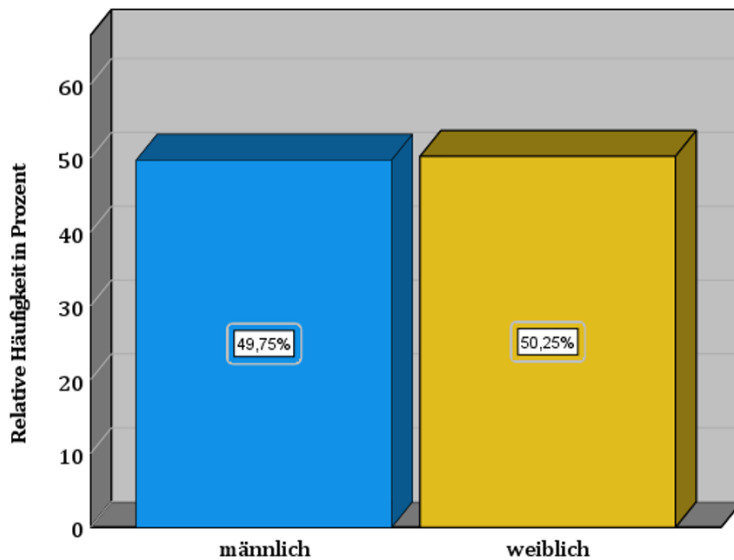


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung der Geschlechter der in die Untersuchung eingegangenen Patienten ($n = 398$) in Prozent

4.1.2 Verteilung nach Alter der Patienten

Das Alter der Patienten beträgt zum Zeitpunkt des Behandlungsstarts, dem Trepanationszeitpunkt, zwischen 16,98 Jahre (Minimum) und 95,63 Jahre (Maximum). Daraus ergibt sich das durchschnittliche Patientenalter, welches bei 54,53 Jahren liegt.

Die gruppierte Altersverteilung der Patienten zu je zwanzig Jahren ist in Abbildung 13 dargestellt: Am häufigsten vertreten ist das Patientenkollektiv in der Altersklasse der über 60-Jährigen mit 42,46% ($n = 169$), während die unter 20-Jährigen mit 1,51% ($n = 6$) den geringsten Anteil zum Patientenpool beitragen.

Die Gruppe der 20- bis 40-Jährigen und die Gruppe der 40- bis 60-Jährigen tragen mit 18,34% ($n = 73$) bzw. 37,69% ($n = 150$) zum Gesamtkollektiv bei.

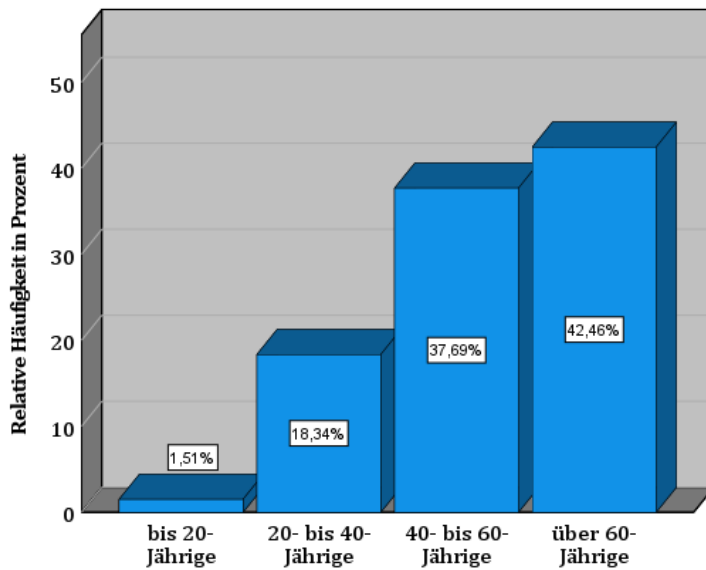


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der in die Untersuchung eingegangenen Patienten ($n = 398$) in Prozent gruppiert nach Altersklassen

Das durchschnittliche Patientenalter und der anhand der Patientendaten ermittelte Median liegt mit 54,53 Jahren und 56,25 Jahren eng beieinander. Dies unterstreicht eine leicht ins Positive verschobene Standardverteilung des Patientenalters. In Abbildung 14 wird dies ebenfalls ersichtlich.

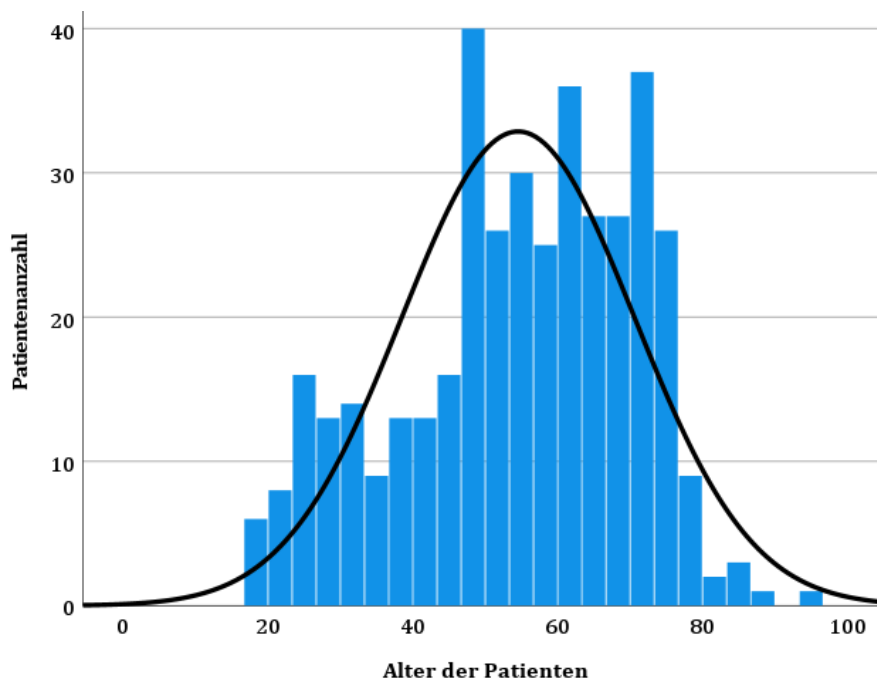
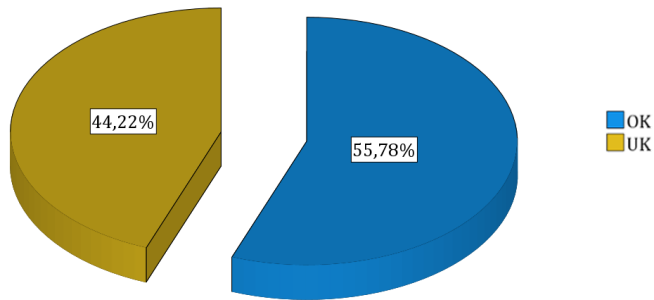


Abbildung 14: Histogramm des Patientenalters mit Standardabweichung

4.1.3 Verteilung in Ober- und Unterkiefer

55,78% der in dieser Dissertation untersuchten ersten Prämolaren befinden sich im Oberkiefer ($n = 222$) und 44,22% ($n = 176$) sind im Unterkiefer lokalisiert. Somit dominieren die Prämolaren des Oberkiefers leicht gegenüber jenen des Unterkiefers.

Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der beobachteten Fälle nach Lokalisation im OK und UK ($n = 398$)



4.1.4 Verteilung nach Quadranten

Die beobachteten ersten Prämolaren verteilten sich über alle vier Quadranten. Mit 29,15% ($n = 116$) bzw. 26,63% ($n = 106$) stellten die Prämolaren in Regio 14 und 24 im ersten und zweiten Quadranten die beiden am häufigsten vertretenen Zahngruppen dar. Es folgen die Prämolaren der Position in Regio 34, die mit $n = 91$ beobachteten Fällen und 22,86% in die Statistik eingehen. Den geringsten Anteil an untersuchten Zähnen tragen die Prämolaren in Regio 44 mit 21,36% und $n = 85$ Fällen bei.

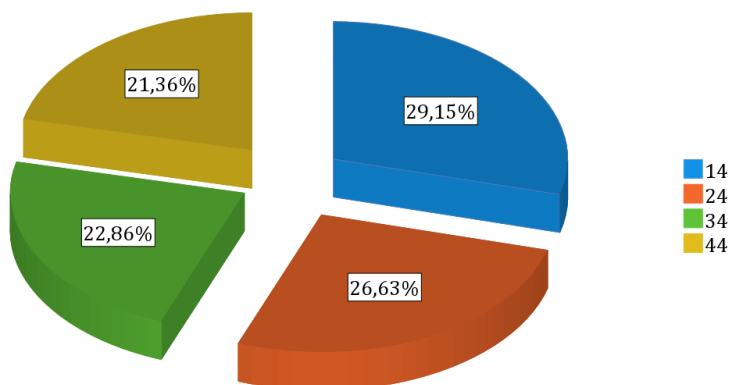


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der beobachteten Fälle in Prozent nach Quadranten ($n = 398$)

4.1.5 Präendodontischer Zustand: Beherdungsgrad, Vitalität und Perkussionsempfindlichkeit

Anhand der in der Patientenkartei schriftlich festgehaltenen diagnostischen Parameter zum Trepanationszeitpunkt, können sowohl der Vitalitätszustand als auch die Perkussionsempfindlichkeit von den betreffenden Prämolaren nachträglich statistisch erfasst werden. Jene Zähne deren Vitalitätszustand oder Perkussionsgrad nicht ausdrücklich schriftlich dokumentiert wurden, gehen als „unbekannt“ in die Statistik ein.

Präendodontischer Zustand: Beherdungsgrad

Von allen beobachteten ersten Prämolaren aller vier Quadranten gehen 51,76% ($n = 206$) bei Behandlungsbeginn als röntgenologisch periradikulär beherdete deklarierte Zähne in die Statistik ein. Demnach sind nach röntgenologischer Auswertung zu Beginn der Wurzelkanalbehandlung 48,24% ($n = 192$) ohne Beherdung.

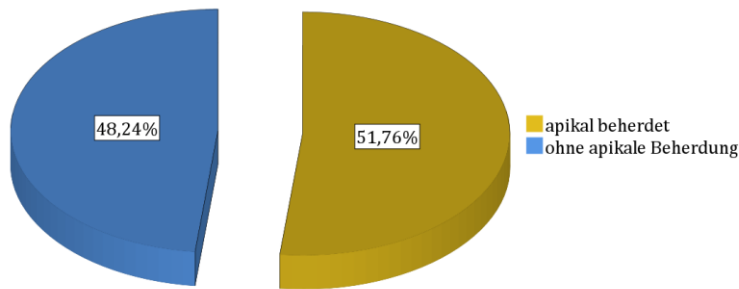


Abbildung 17: Präendodontischer Beherdungsgrad aller beobachteten Fälle in Prozent ($n = 398$)

Aufgeteilt nach Quadranten bedeutete dies, dass 51,72% ($n = 60$) der „14er“ und 57,55% ($n = 61$) der „24er“ – und damit über die Hälfte der jeweiligen Zahngruppe – laut röntgenologischer Bewertung beherdet in die Wurzelkanalbehandlung gestartet sind. In Regio 34 mit 48,35% ($n = 44$) und Regio 44 mit 48,24% ($n = 41$) startete dagegen der größere Teil der Prämolaren laut röntgenologischer Bewertung ohne Beherdung in die Wurzelkanalbehandlung. (Siehe Abbildung 18)

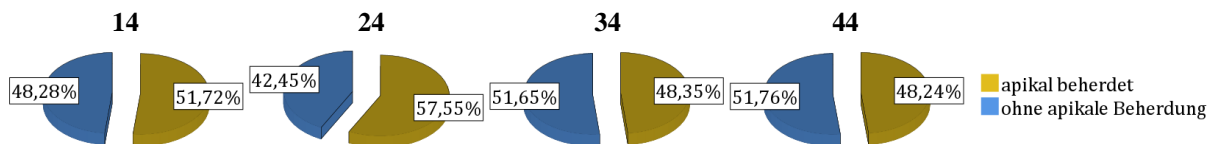


Abbildung 18: Präendodontischer Beherdungsgrad in Prozent gruppiert nach Quadranten.

Präendodontischer Zustand: Perkussionsempfindlichkeit

Der Grad der präendodontischen Perkussionsempfindlichkeit ist, wie auch der präendodontische Vitalitätszustand, anhand der schriftlich dokumentierten Parameter erhoben. Da in einigen Fällen jedoch keine schriftliche Dokumentation dieser Parameter angefertigt wurde, gehen für diesen Teil der Statistik nicht alle insgesamt beobachteten Fälle ($n = 398$) in die Statistik ein. Es ergibt sich für den Grad der Perkussionsempfindlichkeit ein Pool aus ersten Prämolaren von $n = 236$. Von diesen ersten Prämolaren aller Quadranten sind zum Zeitpunkt des Einleitens der Wurzelkanalbehandlung 80,51% ($n = 190$) perkussionsempfindlich. Nur 19,49% ($n = 46$) weisen keine Perkussionsempfindlichkeit auf. (Siehe Abbildung 19). Aufgeteilt nach der Lokalisation im Gesamtgebiss, liegt der Anteil der perkussionsempfindlichen Zähne in allen vier Quadranten deutlich über dem Anteil

der Zähne ohne Perkussionsempfindlichkeit: Hier schwankt der Wert der perkussionsempfindlichen Zähne je nach Quadrant zwischen 78,13% ($n = 50$) und 81,63% ($n = 40$). Für perkussionsunempfindliche erste Prämolare zwischen 18,37% ($n = 9$) und 21,88% ($n = 14$). Siehe Abbildung 19.

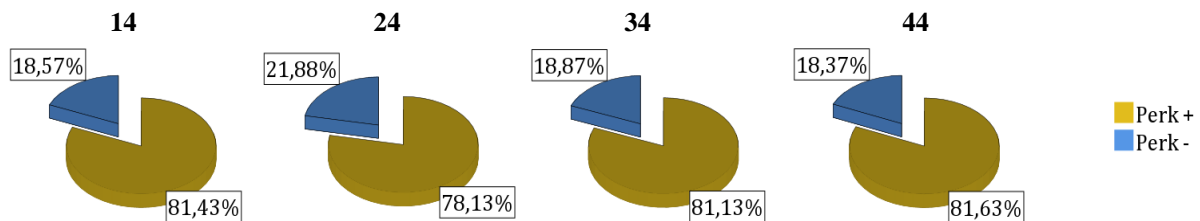


Abbildung 19: Präendodontische Perkussionsempfindlichkeit der beobachteten Fälle nach Quadranten

Präendodontischer Zustand: Vitalitätsgrad

Für die Statistik des präendodontischen Vitalitätsgrads ergeben sich dokumentierte Parameter in ($n = 305$) Fällen. Einige Prämolare erhielten im Rahmen der in diese Studie eingeflossenen Daten nicht ihre erste, sondern eine weitere Wurzelkanalbehandlung, eine sogenannte Revision. Prämolare, die eine Revision erhielten, wurden hinsichtlich des präendodontischen Vitalitätsgrads gesondert betrachtet und machen 14,10% ($n = 43$) der hier betrachteten Fälle aus. 47,87% der Zähne ($n = 146$) sind zum Trepanationszeitpunkt vital. 38,03% ($n = 116$) der ersten Prämolaren sind zum Trepanationszeitpunkt devital. Siehe hierzu Abbildung 20.

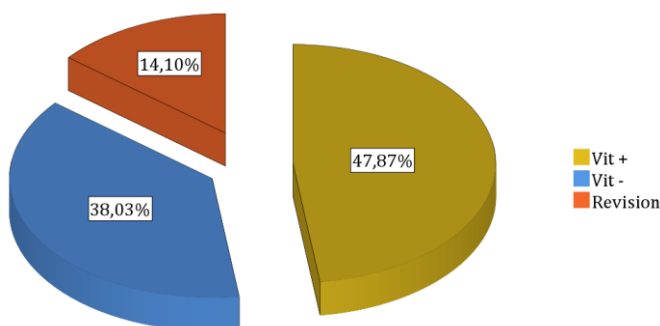


Abbildung 20: Präendodontischer Vitalitätszustand der beobachteten Fälle in Prozent ($n = 305$)

Zum Trepanationszeitpunkt kann je nach Quadrant mindestens bei 29,67% bis maximal 42,35% eine positive Vitalität nachgewiesen werden. Der Wert der negativen Vitalität schwankt je nach Quadrant zwischen 34,18% ($n = 27$) in Regio 24 und 48,39% ($n = 30$) in Regio 34. In allen vier Quadranten gehen somit weniger Prämolare, deren Vitalität negativ ist, in die Statistik ein, als jene, deren Vitalität positiv ist. Hier schwanken die Werte je nach Quadrant zwischen 41,94% ($n = 26$) in Regio 34 und 52,17% ($n = 36$) in Regio 44.

Die Anteile der revisionspflichtigen Prämolaren schwanken je nach Quadrant zwischen 9,68% ($n = 6$) in Regio 34 und 17,72% ($n = 14$) und Regio 24 und machen damit den jeweils kleinsten Teil der Untersuchungsgruppe aus. Vergleiche hierzu Abbildung 21.

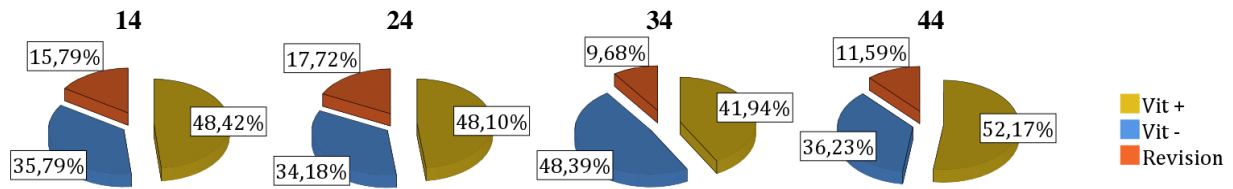


Abbildung 21: Präendodontischer Vitalitätszustand in Prozent gruppiert nach Zahnposition

4.1.6 Auswertung der Zeitspanne zwischen Trepanationszeitpunkt und Wurzelfüllung

Die im Durchschnitt vergangene Zeit in Monaten zwischen dem Zeitpunkt des Einleitens der Wurzelkanalbehandlung (Trepanation) und dem Zeitpunkt des Abfüllens des Kanalsystems (Wurzelfüllung), beträgt in dieser Arbeit im Mittel 1,69 Monate. Der individuelle Zeitraum schwankt jedoch erheblich. Während 61,56% der Fälle ($n = 398$) innerhalb eines Monats ihre Wurzelkanalfüllung erhielten und weitere 17,09% innerhalb zweier Monate nach Trepanationszeitpunkt, sank der prozentuale Anteil der fertiggestellten Wurzelkanalbehandlungen zwar tendenziell mit zunehmendem Zeitpunkt, erstreckt sich aber in wenigen Fällen auch über die 6-Monatsgrenze hinaus. Insgesamt 4,51% erhielten Ihre Wurzelfüllung erst nach einem Beobachtungszeitraum von mehr als sechs Monaten. In sehr wenigen Fällen erstreckte sich dieser Zeitraum bis über 12 Monaten nach Trepanationszeitpunkt (2,26%).

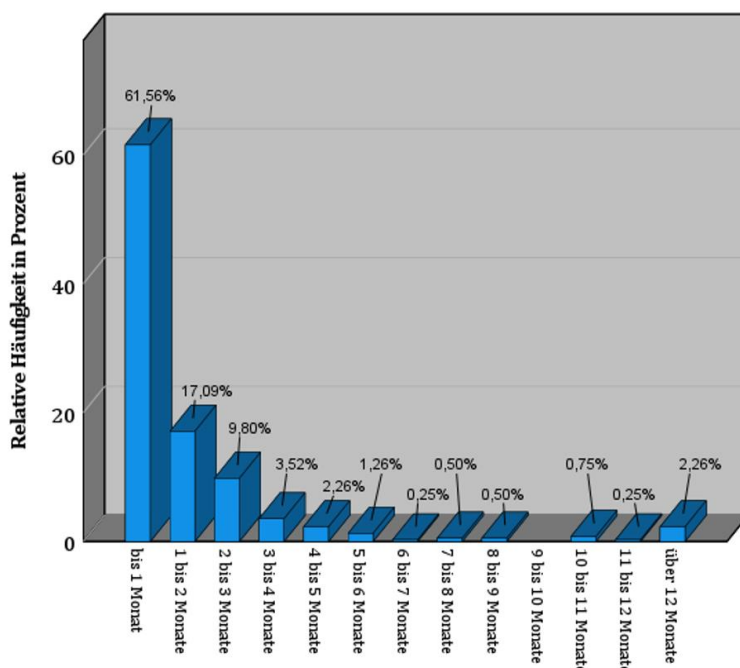


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung des Beobachtungszeitraums zwischen Trepanationszeitpunkt und Wurzelkanalfüllung in Prozent ($n = 398$)

4.1.7 Auswertung der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und definitiver Restauration

Für 390 Fälle ($n = 390$) kann nach Durchführung der Wurzelfüllung der exakte Termin des Einsetzens der definitiven Versorgung ermittelt werden, bei $n = 8$ Fällen lässt sich weder schriftlich noch röntgenologisch feststellen, wann genau die definitive Versorgung stattgefunden hatte. In den meisten Fällen erfolgt die definitive Restauration „unmittelbar“ nach der Wurzelfüllung: 64,87% ($n = 253$) erhalten ihre definitive Restauration maximal 1 Monat nach Durchführung der WF, weitere 4,6% ($n = 18$) erhalten sie maximal zwei Monate nach der individuellen Wurzelfüllung. In den weiteren beiden Monaten erhalten je weitere 3,33% (je $n = 13$) ihre Versorgung. Nach vier bis fünf Monaten erhalten 3,59% ($n=14$) ihre Restauration. In den anschließenden Monaten schwankt die Anzahl der versorgten Zähne zwischen 0,51% und 2,05% ($n = 2$ bis $n = 8$). Im Zeitraum von ein bis zwei Jahren nach der WF werden $n = 27$ erste Prämolare versorgt (6,92%) und über 2 Jahre nach der Wurzelfüllung weitere $n = 15$ erste Prämolare (3,85%).

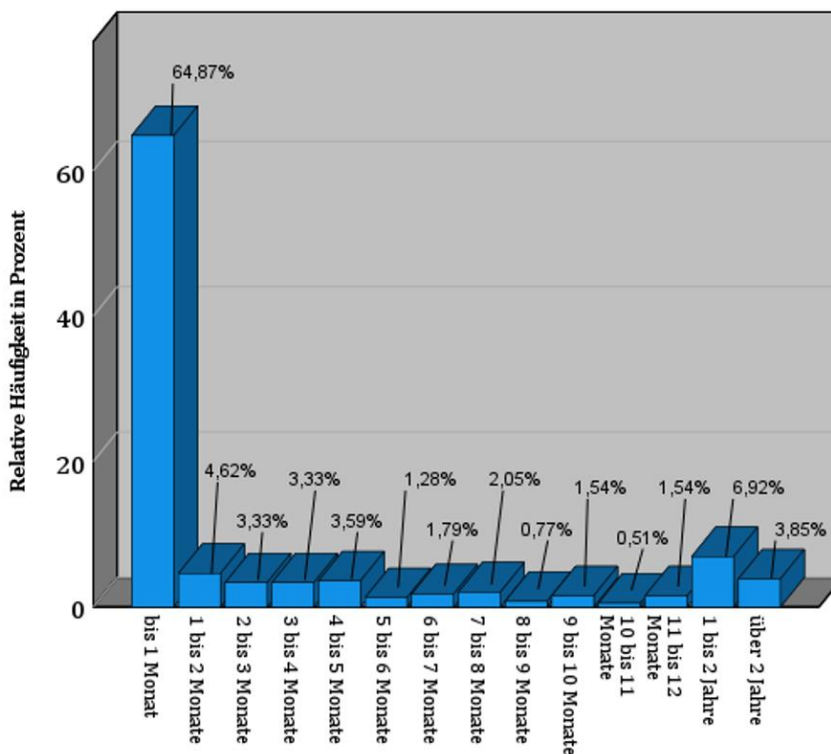


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Einsetzen der definitiven Restauration gruppiert nach Zeitpunkten ($n = 390$)

Aufgrund der deutlichen Mehrheit der Versorgungen, die im ersten Monat nach der Wurzelfüllung stattgefunden haben, wurden in der folgenden Abbildung 24 alle Zähne, die eine Komposit-Füllung als definitive Versorgung erhalten hatten, nicht in die Statistik einbezogen, da diese Restaurationsart am ehesten unmittelbar nach der Wurzelfüllung durchgeführt wird. Abbildung 24 basiert demnach auf ($n = 212$) ersten Prämolaren. Dennoch ergibt sich eine deutliche Mehrheit der unmittelbar im ersten Monat nach

Wurzelfüllung restaurierten Zähne. 50% der ersten Prämolare ($n = 106$), die keine Füllung als definitive Restauration erhalten hatten, erhielten innerhalb der ersten drei Monaten nach ihrer Wurzelfüllung ihre definitive Versorgung. Die restlichen 50% erhielten ihre Restauration im Zeitraum nach dem vierten Monat nach der Wurzelfüllung. Der Peak von 12,74% ($n = 27$) bzw. 7,08% ($n = 15$) im Zeitraum „1 bis 2 Jahre“ und „über 2 Jahre“ lässt sich durch die größere Zeitspanne der jeweiligen Untergruppe erklären.

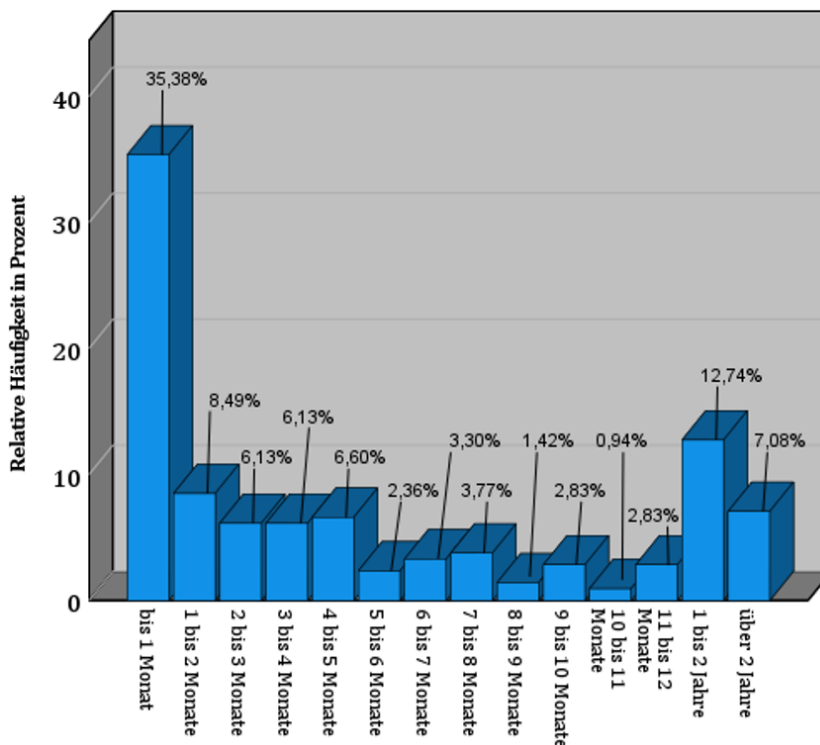


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Einsetzen der definitiven Restauration (ohne Komposit Füllungen) ($n = 212$)

4.1.8 Verteilung der definitiven postendodontischen Versorgung nach Restaurationsarten

Alle innerhalb der Studie beobachteten ersten Prämolare ($n = 398$) erhielten nach Abschluss ihrer Wurzelkanalbehandlung mit der Wurzelfüllung nach einer individuellen Zeitspanne eine definitive koronale Restauration unterschiedlicher Art. Die Verteilung der Häufigkeiten der Restaurationsarten wird in Abbildung 25 dargestellt. Die häufigste Art der Versorgung der beobachteten Prämolare stellt mit 44,72% ($n = 178$) die Komposit-Füllung nach Anwendung der Schmelz-Ätz-Technik dar. 31,91% ($n = 127$) wurden mit Hilfe einer Vollkrone (entweder einer Metall-Keramik-Verbund-Vollkrone oder einer Vollkeramik-Vollkrone) versorgt. Rein metallische Vollkronen oder Brückenpfeiler kommen aufgrund der Position der ersten Prämolaren im Gesamtgebiss und der Regelversorgung mit mindestens vestibulärer Verblendung nicht vor. Es folgen die zu gleichen Teilen vertretenen Gruppen der Prämolare mit definitiver Restauration als Brückenpfeiler mit 11,06% ($n = 44$) oder als Primärteleskop mit 11,06% ($n = 44$). Mittels Teilkronen (rein

metallische Teilkronen und rein keramische Teilkronen) wurden 1,26% ($n = 5$) der ersten Prämolare versorgt.

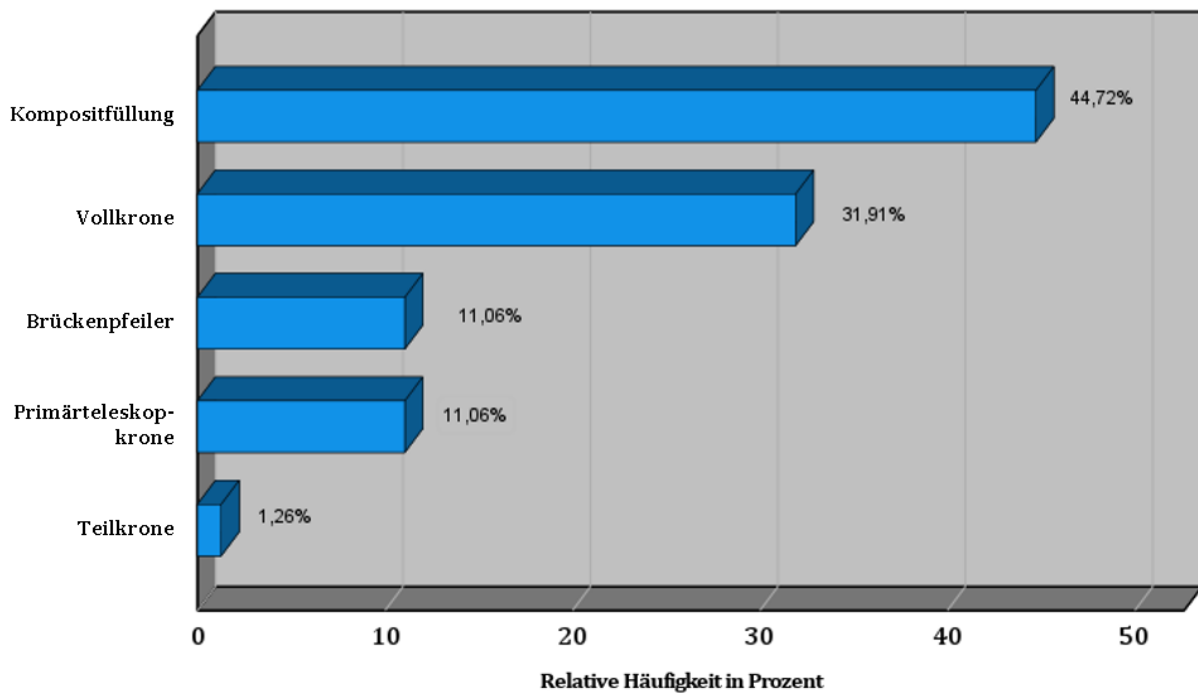


Abbildung 25: Verteilung der definitiven koronalen Restaurationen nach Versorgung in Prozent ($n = 398$)

Die größte Gruppe der erfassten Prämolare erhielt ihre koronale postendodontische Restauration ohne zusätzliche Restaurationsmaßnahmen. 80,65% ($n = 321$) der Fälle erhielten in dieser Untersuchung ihre definitive prothetische Versorgung ohne zusätzliche Insertion eines Stiftsystems. Die restlichen 19,35% ($n = 77$) der Prämolaren erhielten zusätzlich zu ihrer koronalen definitiven Restauration die Insertion eines Stift-Systems unterschiedlicher Art. 13,32% ($n = 53$) der beobachteten Prämolare erhielten einen gegossenen Stift-Stumpf-Aufbau. Der individuell angefertigte Stift-Stumpf-Aufbau ist damit das am meisten angewendete Stiftsystem in diesem Pool der beobachteten Prämolaren. 4,27% der Prämolare ($n = 17$) wurden mit Hilfe eines Glasfaserstifts aufgebaut und für die Aufnahme der koronalen Restauration vorbereitet. Konfektionierte Radixanker sind in 1,51% der beobachteten Fälle ($n = 6$) angewendet worden. Die Radixanker sind der schriftlichen Dokumentation zufolge immer in Kombination mit einem anschließenden Aufbau aus Komposit angewendet worden. Mit 0,25% ($n = 1$) kamen am seltensten Stifte aus Zirkonoxidkeramik zum Einsatz. Der Einfluss der unterschiedlichen Stiftmaterialien auf das Überleben ist aufgrund der hier geringen Anzahl dokumentierter Fälle statistisch nicht bewertbar. Weiterhin wird daher nur nach „Stiftversorgung“ und „kein Stift“ kategorisiert. Dies gilt auch für das Kapitel 4.2.

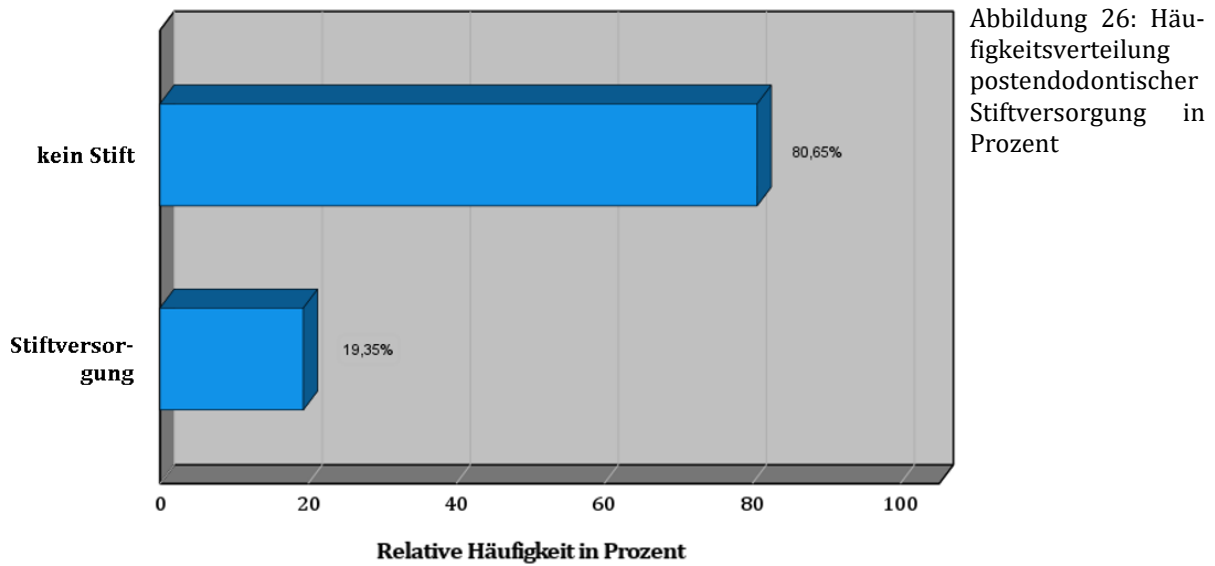


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung postendodontischer Stiftversorgung in Prozent

4.1.9 Röntgenologisch ermittelter, postendodontischer Beherdungsgrad

Die folgende Abbildung 27 basiert auf der Einschätzung des Beherdungsgrads auf Basis der Beurteilung der jeweils letzten Röntgenverlaufskontrolle des beobachteten ersten Prämolaren in situ. Die große Mehrheit der beobachteten Zähne mit 65,89% ($n = 199$) stellen sich im Rahmen der letzten röntgenologischen Verlaufskontrolle ohne sichtbare Beherdung dar. Wenn eine Beherdung vorlag, war dies mit 24,17% ($n = 73$) am ehesten eine Beherdung endodontischen Ursprungs. In deutlich weniger Fällen weisen die betreffenden Zähne zum Zeitpunkt der letzten röntgenologischen Kontrolle eine Beherdung parodontalen Ursprungs mit 6,29% ($n = 19$) oder in noch selteneren Fällen mit 3,64% ($n = 11$) eine kombinierte Paro-Endo-Läsion auf.

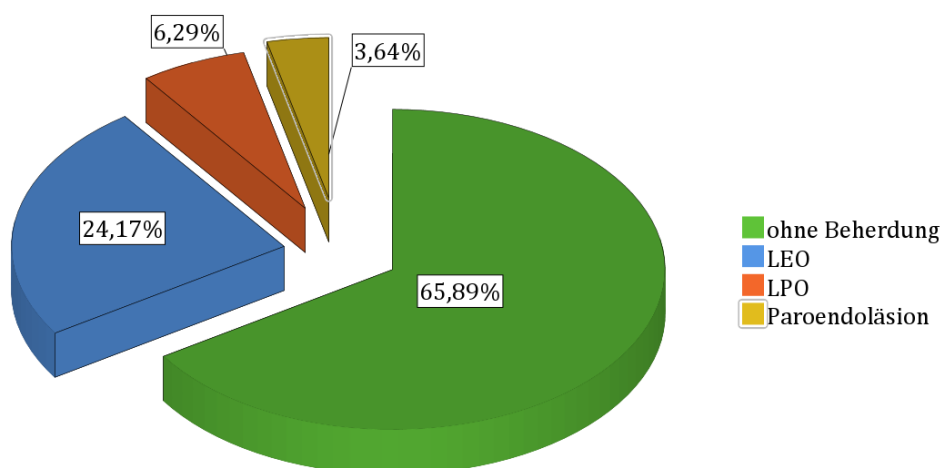


Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung der Art der Beherdung nach Wurzelfüllung festgestellt mittels einer Röntgenverlaufskontrolle

4.1.10 Häufigkeitsverteilung der Extraktion im Beobachtungszeitraum

Einige der beobachteten ersten Prämolaren erlitten innerhalb des röntgenologischen oder schriftlichen Beobachtungszeitraums Komplikationen unterschiedlicher Art, die in den häufigsten Fällen bis hin zur Extraktion des betreffenden Zahns führten. Abbildung 28 zeigt die Verteilung der Häufigkeit der durchgeführten Extraktionen im individuellen Beobachtungszeitraum. Mit 25,88% ($n = 103$) mussten mehr als ein Viertel der beobachteten Prämolare im Beobachtungszeitraum extrahiert werden. 74,12% ($n = 295$) verblieben in ihrem individuellen Beobachtungszeitraum in situ. Wurde - in seltenen Fällen - ein erster Prämolare innerhalb des Beobachtungszeitraums aus ärztlicher Sicht als „nicht erhaltungswürdig“ deklariert, aber vom Patienten darüber hinaus noch erhalten, gingen diese Prämolaren ab diesem Zeitpunkt ebenfalls als extrahiert in die Statistik ein.

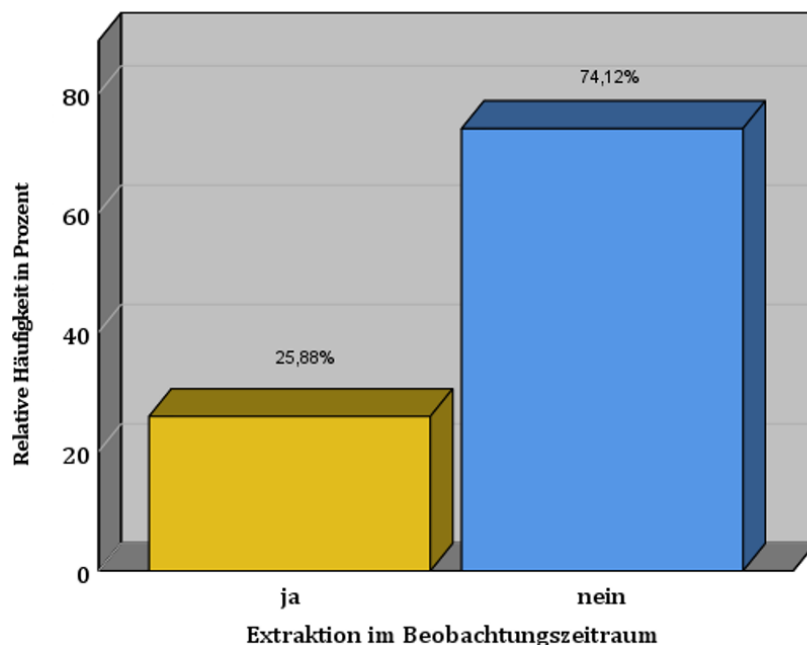


Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der Extraktionen im Beobachtungszeitraum in Prozent ($n = 398$)

4.1.11 Häufigkeitsverteilung der Ursachen der Nichterhaltungswürdigkeit

Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum bis zur Extraktion, betrug für die Anzahl der hier extrahierten Fälle ($n = 103$) im Durchschnitt 2,96 Jahre. Der erste Zahn wurde bereits nach 0,13 Jahren zur Extraktion erklärt, während der letzte Zahn erst nach 11,13 Jahren extrahiert wurde. Die Gründe der Nichterhaltungswürdigkeit der ($n = 103$) extrahierten Zähne, lassen sich wie in Abbildung 29 dargestellt, in fünf verschiedene Kategorien zusammenfassen und für alle extrahierten ersten Prämolaren statistisch folgendermaßen darstellen.

Der Großteil der in die Statistik eingeflossenen Prämolare musste mit 38,83% und $n = 40$ infolge einer Fraktur in horizontaler Richtung entfernt werden. Die zweitgrößte Gruppe

der extrahierten Prämolaren mit 29,13% ($n = 30$) weisen eine neu aufgetretene oder größer gewordene periapikale Aufhellung, teilweise mit Fistelgang, auf. Gefolgt werden diese Kategorien von ersten Prämolaren, die entweder eine so starke parodontale Schädigung aufwiesen, dass sie nicht erhalten werden konnten (13,59%; ($n = 14$)), oder eine Längsfraktur aufwiesen 10,68% ($n = 11$). In 7,77% der Fälle ($n = 8$) weist der entsprechende erste Prämolare eine Karies unterhalb des Knochniveaus auf, die für die Entfernung des Zahns ursächlich war.

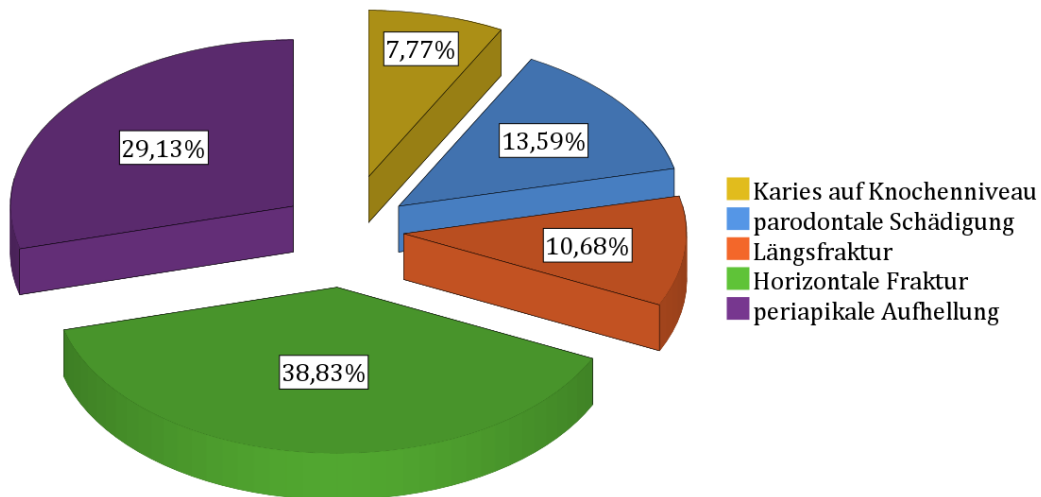


Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung der Ursachen der Nichterhaltungswürdigkeit in Prozent ($n = 103$)

4.1.12 Häufigkeitsverteilung der Restauraionsart zur Lückenversorgung nach stattgefundener Extraktion

Wenn die beobachteten Prämolare im Beobachtungszeitraum extrahiert wurden, wurden diese Fälle darauf untersucht, mit welcher Restauraionsart die Lückenversorgung in diesem Bereich zu späterem Zeitpunkt stattgefunden hat. Von den ($n = 103$) innerhalb des individuellen Beobachtungszeitraums durchgeführten Extraktionen, konnte in insgesamt 100 Fällen ($n = 100$) weiter nachvollzogen werden, wie die anschließende Lückenversorgung bis zum Ende des jeweiligen Beobachtungszeitraums ausgesehen haben. Mit 30% ($n = 30$) wurden in den meisten Fällen die entstandenen Lücken mit Hilfe einer Teleskopprothese versorgt. Während in weiteren 20% der Fälle ($n = 20$) die entstandene Lücke innerhalb des Beobachtungszeitraums unversorgt blieb, wurde in fast genau so vielen Fällen eine Versorgung mittels Modellgussprothese oder Interimsprothese 18%, ($n = 18$) vorgenommen. Implantate kamen in 17% der Fälle ($n = 17$) zum Einsatz. 10% ($n = 10$) der Lücken wurden mittels einer Brücke versorgt. In seltenen Fällen (5%, $n = 5$) wurde eine Totalprothese zum Ersatz des jeweiligen gesamten Kiefers eingesetzt. Die Verteilung der Restauraionsarten zur Lückenversorgung ist in Abbildung 30 dargestellt.

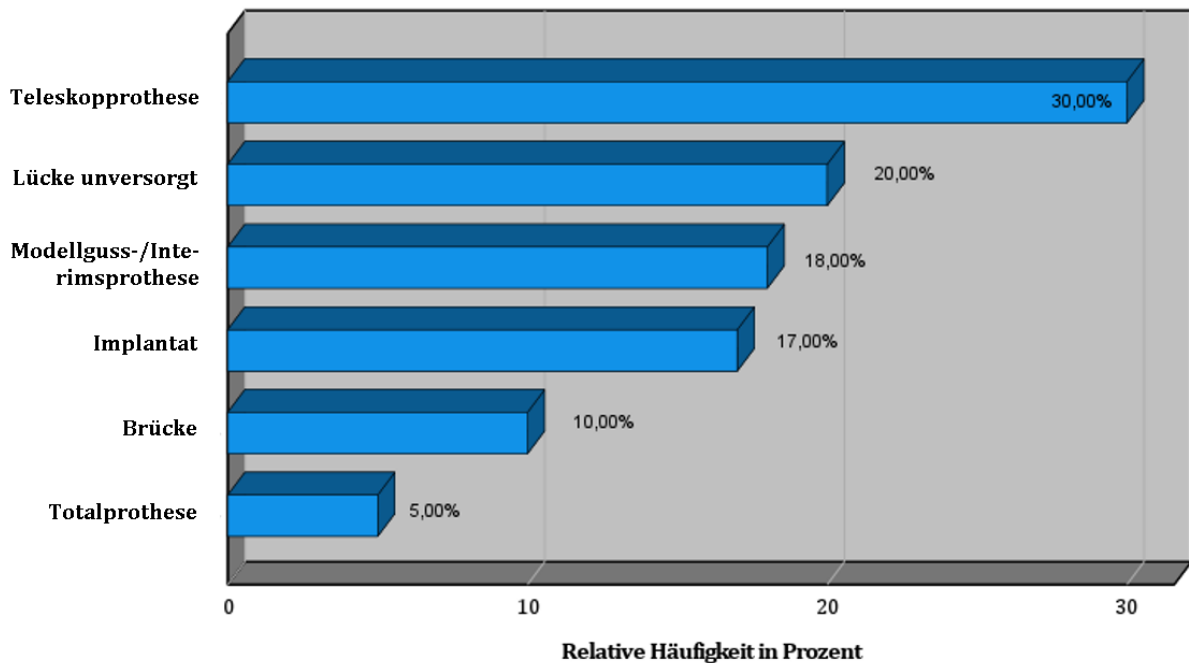


Abbildung 30: Häufigkeitsverteilung der Lückenversorgung nach stattgefundener Extraktion ($n = 100$)

4.2 Erfolgsdefinitionen und Survival Analysen

In diesem Kapitel werden nach unterschiedlichen Erfolgsdefinitionen verschiedene Survivalanalysen durchgeführt. Mit Hilfe der Cox-Regression-Analyse und der Kaplan Meier Methode mit dem Log-Rang-Test wurden verschiedene Einflussparameter auf die Überlebenswahrscheinlichkeit untersucht. Mit Hilfe des Signifikanzniveaus (p) wird untersucht, ob das definierte Ereignis abhängig von den untersuchten Einflussvariablen ist, oder sich durch Zufall ergibt.

Im Folgenden werden unterschiedliche Überlebenskurven gezeigt. Auf der X-Achse ist immer der Beobachtungszeitraum dargestellt, die y-Achse zeigt das kumulative Überleben. Zensierte Fälle sind am Ende des Beobachtungszeitraums ohne Misserfolgsereignis angekommen. Dies gilt für alle weiteren Survivalanalysen dieser Arbeit.

Weitere Informationen zum statistischen Vorgehen und der Ergebnisinterpretation finden Sie in Kapitel 3.7.

4.2.1 Angewandte Erfolgsdefinitionen kurzgefasst

Als Grundlage der Durchführung der folgenden Survivalanalysen in dieser Arbeit wurden zwei Erfolgsdefinitionen eigens definiert, denen unterschiedliche Kriterien zugrunde liegen, angewandt: Es wird die rein funktionelle Erfolgsdefinition, die das bloße symptomfreie Überleben des Zahns in der Mundhöhle untersucht, von einer röntgenologisch belegbaren Erfolgsdefinition unterschieden.

Die funktionelle Erfolgsdefinition betrachtet das klinisch symptomfreie Überleben des Zahns in der Mundhöhle, welches als funktioneller Zugewinn des Patienten im Zuge der Belastbarkeit als Teil des Kausystems gewertet wird.

Davon unterschieden wird die anhand röntgenologisch sichtbarer Kriterien gemessene Erfolgsdefinition: Diese röntgenologische Evaluation wurde in Anlehnung an den periapikalen Index (PAI) nach Ørstavik et al. (1986) [117] getroffen. Detailliertere Informationen zu den Erfolgsdefinitionen, finden sich in Kapitel 3.6.

Im Folgenden wird nur noch nach funktioneller und röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition unterschieden.

4.2.2 Alle beobachteten Fälle nach funktioneller Erfolgsdefinition

Das Diagramm in Abbildung 32 zeigt die Überlebenskurve aller in die Studie eingegangenen Fälle ($n = 398$) nach funktioneller Erfolgsdefinition. Hierbei weisen insgesamt $n = 103$ Fälle (25,88%) ein Misserfolgseignis im Sinne einer Extraktion auf (Abbildung 31). Somit sind $n = 295$ Fälle (74,12%) als Erfolg im Sinne des Verbleibs in situ zu werten (Abbildung 31).

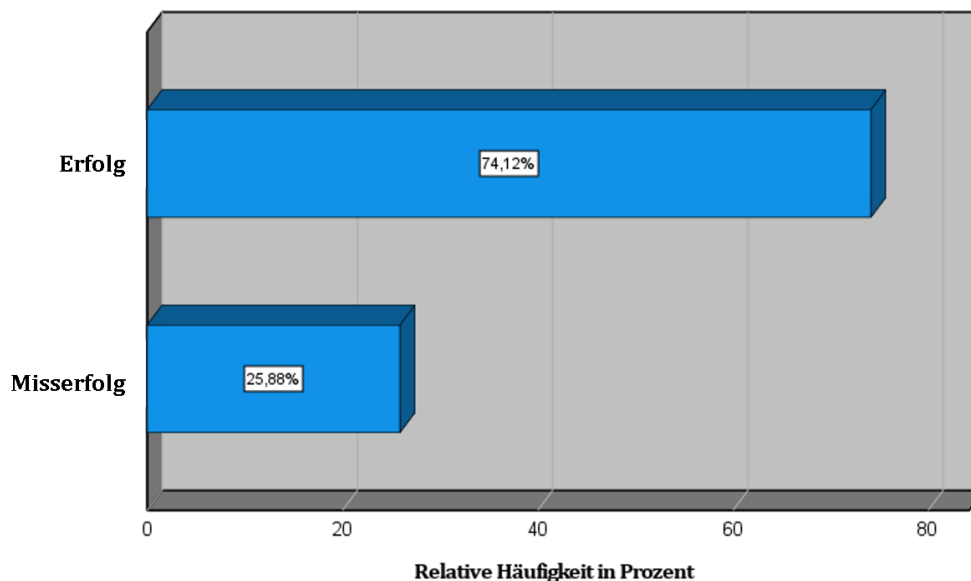


Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der Erfolge und Misserfolge aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach funktioneller Erfolgsdefinition; ($n = 103$) Misserfolgseignisse

Es lässt sich ein Mittelwert der Überlebenszeit angeben, der als Prognose verstanden werden kann. Dieser Mittelwert ist das 95%-Konfidenzintervall mit einem Standardfehler. Für die allgemeine Überlebenswahrscheinlichkeit lässt sich somit das 95%-Konfidenzintervall zwischen 7,06 Jahren und 8,15 Jahren angeben. Die Mittlere Überlebenszeit liegt damit bei 7,605 Jahren.

Anhand der Schnittpunkte der Kurve lassen sich folgende Überlebenswahrscheinlichkeiten ablesen:

- 92,5% nach einem Jahr
- 80,6% nach 3 Jahren
- 71,5 % nach 5 Jahren
- 61,9% nach 7 Jahren

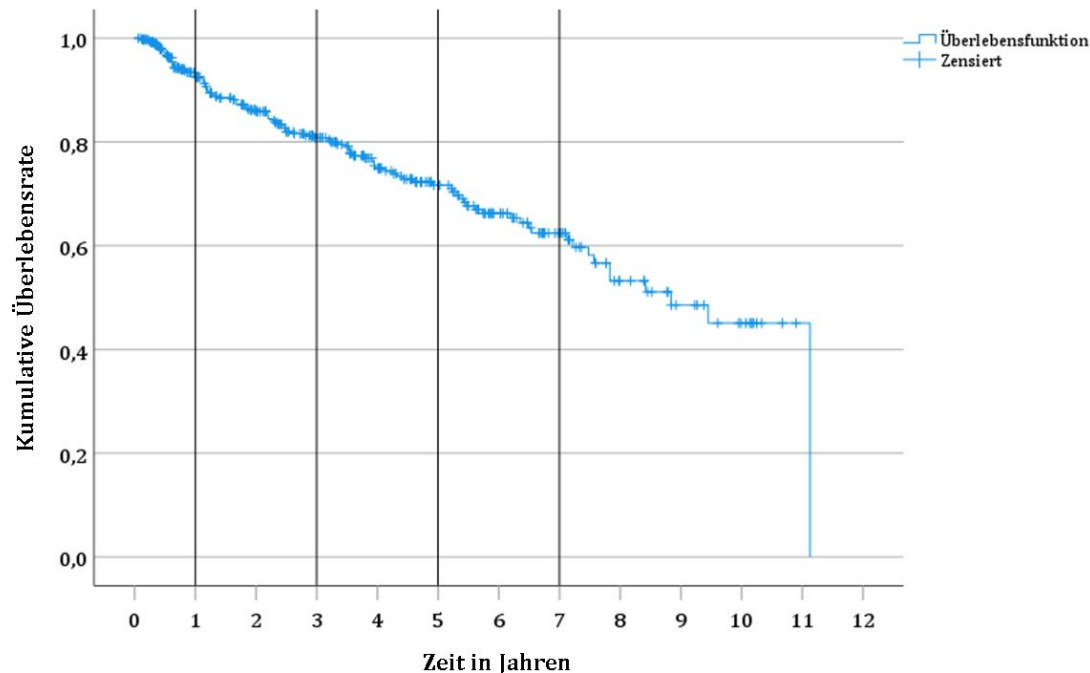


Abbildung 32: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach funktioneller Erfolgsdefinition; ($n = 103$) Misserfolgsereignisse. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.

4.2.3 Alle beobachteten Fälle nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Nach der in Kapitel 3.6 bzw. Kapitel 4.2.1 definierten, röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition ergibt sich nach Kaplan-Meier das in Abbildung 35 dargestellte Diagramm.

Auffällig ist, dass sich nach dieser Erfolgsdefinition, die Anzahl der Misserfolge, im Gegensatz zur funktionellen Erfolgsdefinition, deutlich erhöht. Es gelten 60,05% ($n = 239$) der in dieser Arbeit eingegangenen ersten Prämolare auch nach den Kriterien der strengerer Erfolgsdefinition als Erfolg. Die restlichen 39,95% ($n = 159$) müssen infolge einer neu aufgetretenen oder immer noch vorliegenden Behinderung unterschiedlicher Art (endodontischen oder parodontalen oder kombinierten Ursprungs) eventuell auch in Verbindung mit klinischen Beschwerden oder nach einer stattgefundenen Extraktion als Misserfolg deklariert werden (siehe Abbildung 33).

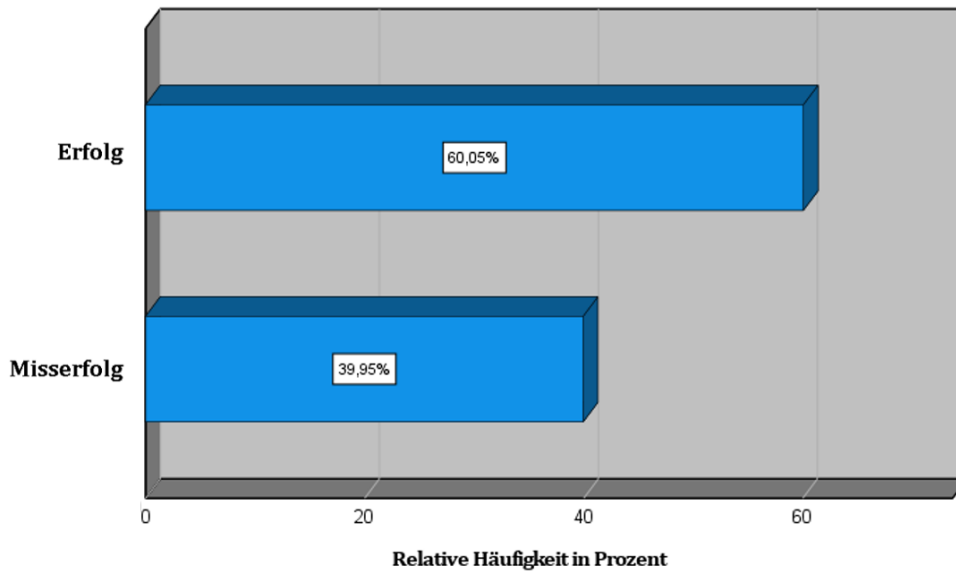


Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung der Erfolge und Misserfolge aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach röntgenologischer Erfolgsdefinition; ($n = 159$) Misserfolgsereignisse

Basierend auf der Einschätzung des Erfolgs einer Wurzelkanalbehandlung anhand röntgenologischer Kriterien, soll die folgende Häufigkeitsverteilung einen Überblick zur Verteilung der Ursachen der nicht erfolgreichen Wurzelkanalbehandlungen geben (Abbildung 34).

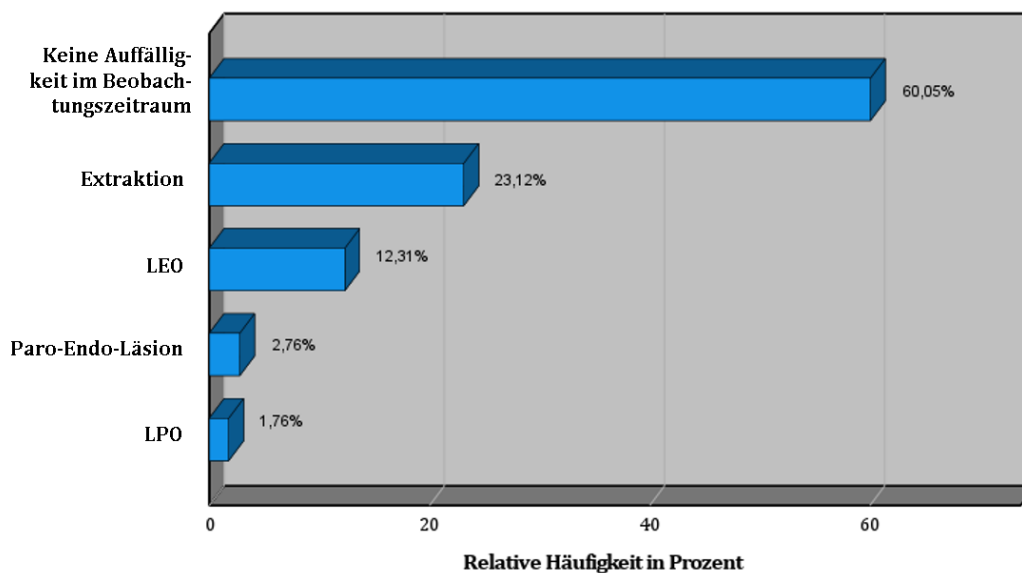


Abbildung 34: Häufigkeitsverteilung der Ursachen des Misserfolgs aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition; ($n = 159$) Misserfolgsereignisse

Das 95%-Konfidenzintervall für die strengere röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition liegt bei 5,65 Jahren bis 6,63 Jahren. Wie zu erwarten, fällt dies deutlich geringer aus als

bei der funktionellen Erfolgsdefinition. Die Mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit liegt bei 6,14 Jahren.

Aus der Überlebensfunktion in Abbildung 35 ergibt sich anhand der Schnittpunkte eine Überlebenswahrscheinlichkeit von:

- 90% nach einem Jahr
- 73,6% nach 3 Jahren
- 57,4% nach 5 Jahren
- 45,1% nach 7 Jahren

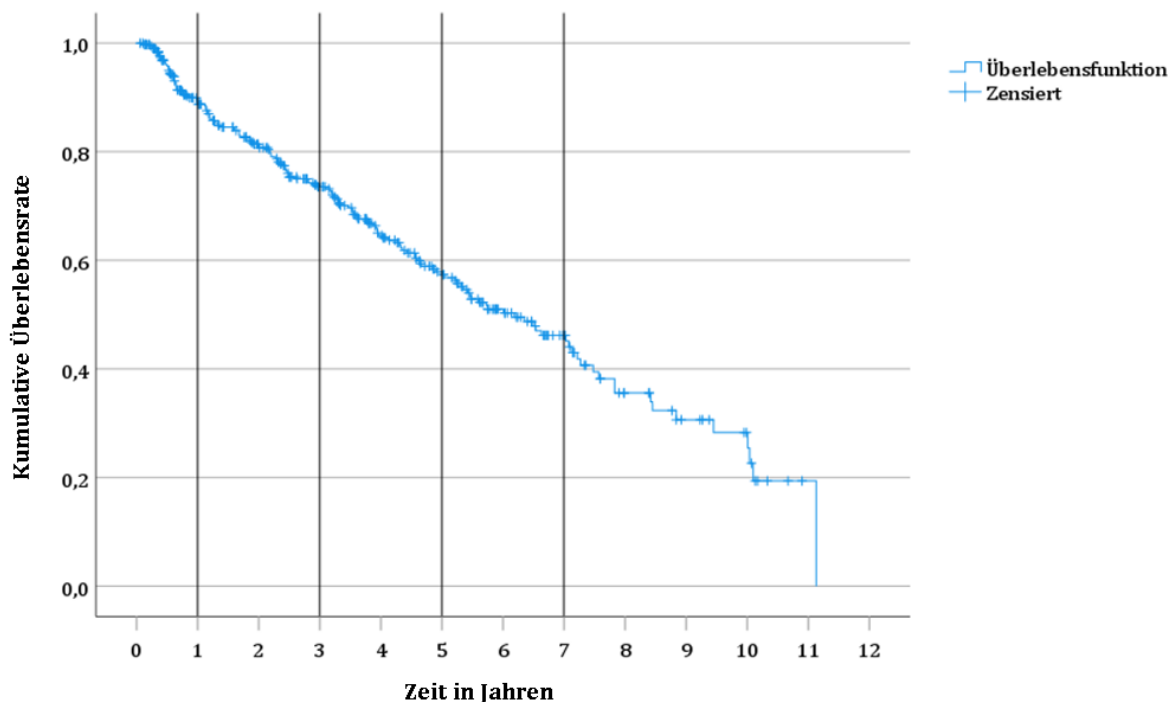


Abbildung 35: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition; ($n = 159$) Misserfolgsereignisse

4.2.4 Geschlecht als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition

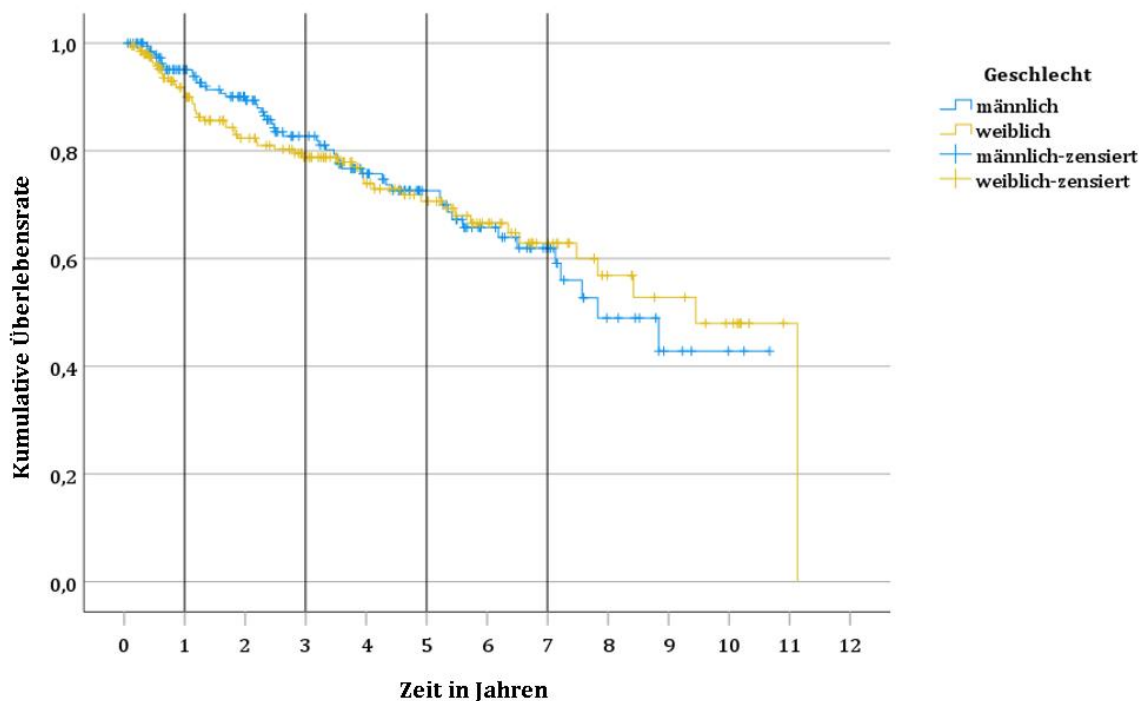
Die Überlebenswahrscheinlichkeitsanalyse für beide Geschlechtergruppen wurde mit Hilfe der Kaplan-Meier-Methode durchgeführt und anschließend graphisch dargestellt. (Siehe Abbildung 36). Die zugehörige deskriptive Statistik ist unter Punkt 4.1.1 aufgeführt. Beim Vergleich der beiden Kurven unterschiedlicher Geschlechter, fällt auf, dass diese sehr dicht beieinander liegen und sich vor allem ab dem Zeitraum des vierten Beobachtungsjahrs mehrfach überschneiden.

Die Verteilung des Patientenpools nach Geschlechtern ist homogen. In Tabelle 2 ist zu erkennen, dass auch die Differenz der Erfolge nach funktioneller Erfolgsdefinition in Prozent von männlichen und weiblichen Patienten gering ist.

Tabelle 2: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
männlich	198	50	148	74,7
weiblich	200	53	147	73,5

Für den Unterschied zwischen den Geschlechtern konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden ($p = 0,912$).

Abbildung 36: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Geschlecht nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.

Des Weiteren sind das 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit der beiden Geschlechter sehr ähnlich (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervalls des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
männlich	7,337	6,618 – 8,056
weiblich	7,661	6,899 – 8,423

Anhand der Ergebnisse kann das Geschlecht nach der funktionellen Erfolgsdefinition als signifikanter Einflussfaktor ausgeschlossen werden.

4.2.5 Geschlecht als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Wie bereits im vorherigen Kapitel 4.2.4 beschrieben, stellt das Geschlecht auch nach der röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition keinen signifikanten Einflussfaktor auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der untersuchten ersten Prämolare dar. Dies wird bestätigt durch Abbildung 37, die einen ähnlichen Kurvenverlauf wie Abbildung 36 hat, sowie durch die Werte in Tabelle 4 und Tabelle 5, die ähnliche Werte wie Tabelle 2 und Tabelle 3 aus dem vorangegangenen Kapitel 4.2.4 aufzeigen. Das Signifikanzniveau von $p = 0,569$ verdeutlicht weiterhin das Geschlecht als nicht signifikanten Einflussfaktor.

Tabelle 4: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
männlich	198	81	117	59,1
weiblich	200	78	122	61

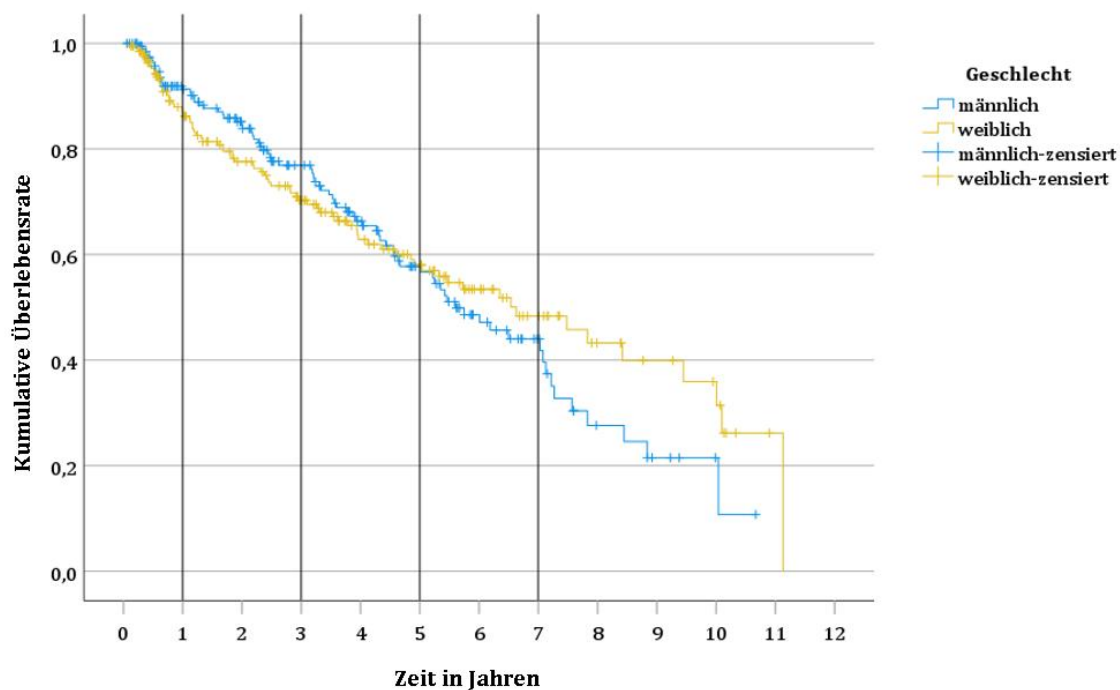


Abbildung 37: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Geschlecht nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.

Tabelle 5: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Geschlecht“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
männlich	5,810	5,196 – 6,424
weiblich	6,407	5,680 – 7,133

4.2.6 Alter als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition

Um das Überleben der beobachteten Prämolare in Abhängigkeit des Alters der Patienten mit Hilfe des Log-Rang-Tests zu untersuchen, wird das Gesamtkollektiv in folgende Altersklassen zu je 20 Lebensjahren unterteilt:

- unter 20-Jährige
- 20- bis 40-Jährige
- 40- bis 60- Jährige
- über 60-Jährige

Die Verteilung der einzelnen Kategorien und Erfolgsraten sind in Tabelle 6 abzulesen:

Tabelle 6: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Patientenalter“ gruppiert nach Altersklassen nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Bis 20-Jährige	6	0	6	100
20- bis 40-Jährige	73	7	66	90,4
40- bis 60-Jährige	150	43	107	71,3
Über 60-Jährige	169	53	116	68,6

Das in Abbildung 38 gezeigte Diagramm zeigt vor allem für die Altersgruppen der unter 20-Jährigen und der 20-bis 40-Jährigen eine deutlich erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit der untersuchten ersten Prämolare.

Der Log-Rang-Test, unter Berücksichtigung der Altersgruppen, ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,057$.

Eine COX-Regression-Analyse kann mit dem Alter als Skalar (ohne Altersgruppierung) durchgeführt werden. Das Ergebnis der COX-Regression-Analyse ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,008$.

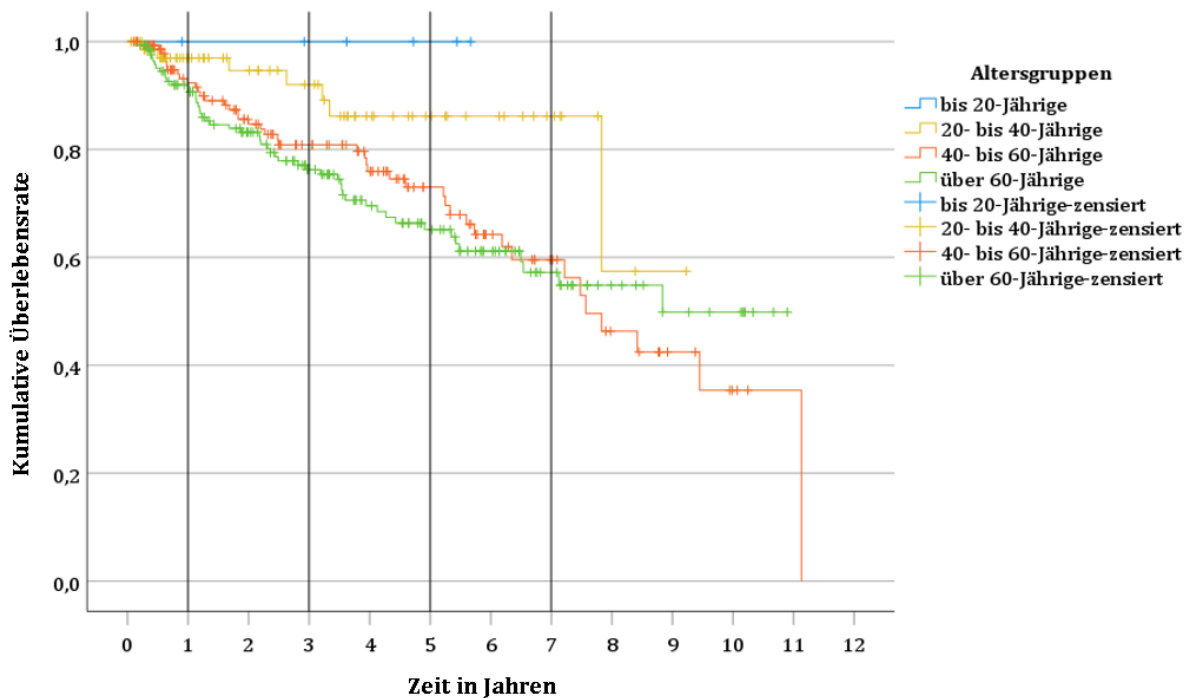


Abbildung 38: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Altersklassen nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.

Das 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit jeder Altersgruppe kann aus Tabelle 7 entnommen werden. Diese verdeutlichen nochmals die Signifikanz des Einflussfaktors des Alters. Es ist darauf hinzuweisen, dass keine mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit der „bis 20-jährigen“ angegeben werden kann, da hier kein Misserfolg im Beobachtungszeitraum auftritt. Interessant ist ebenfalls die geringe Differenz der mittleren Überlebenszeit der Altersgruppen der „40- bis 60-jährigen“ und der „über 60-jährigen“. Dies deutet darauf hin, dass der positive Einfluss des Alters auf die Überlebenswahrscheinlichkeit nach funktioneller Erfolgsdefinition ab einem Lebensalter von ungefähr 40 Jahren abnimmt. Somit ist das Alter der Patienten/-innen, insbesondere für die beiden Altersgruppen mit einem Lebensalter unter 40 Jahren als signifikanter Einflussfaktor zu bewerten.

Tabelle 7: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Patientenalter“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
Bis 20-jährige	Kein Ereignis	Kein Ereignis
20- bis 40-jährige	7,864	6,928 – 8,799
40- bis 60-jährige	7,281	6,428 – 8,135
Über 60-jährige	7,273	6,51 – 8,036

4.2.7 Alter als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

In diesem Kapitel wird die Einteilung der Altersgruppen aus Kapitel 4.2.6 ebenfalls verwendet. In Tabelle 8 sind die Anzahl der Erfolge und Misserfolge aufgelistet.

Tabelle 8: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Patientenalter“ gruppiert nach Altersklassen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Bis 20-Jährige	6	1	5	83,3
20- bis 40-Jährige	73	20	53	72,6
40- bis 60-Jährige	150	59	91	60,7
Über 60-Jährige	169	79	90	53,3

In Abbildung 39 sind die Überlebenskurven der Altersgruppen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition zu sehen. Das Diagramm zeigt im Gegensatz zur Aussage des Kapitels 4.2.6 keinen Trend für die Altersgruppen. Es ergibt sich aus dem Log-Rang-Test ein Signifikanzniveau von $p = 0,496$.

Die COX-Regression-Analyse ohne Altersgruppierung ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,178$.

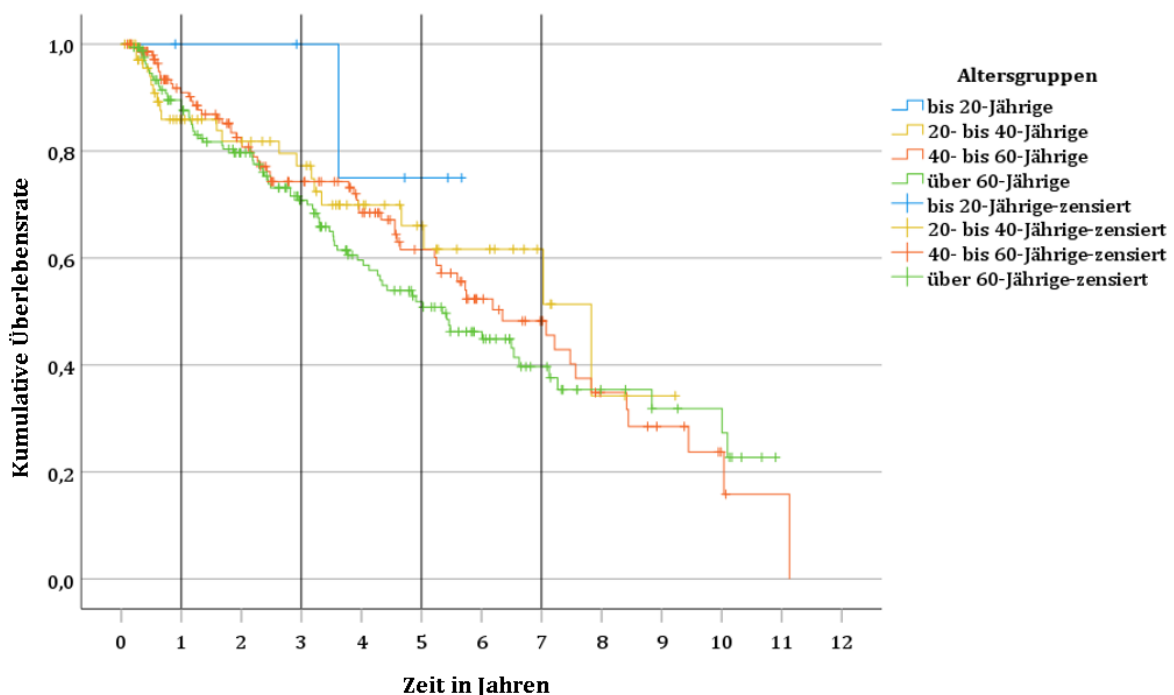


Abbildung 39: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Altersklassen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.

Auch in Tabelle 9 lässt sich mit Hilfe des 95%-Konfidenzintervalls bzw. der mittleren Überlebenszeit in Jahren kein Trend erkennen.

Tabelle 9: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Patientenalter“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
Bis 20-Jährige	Kein Ereignis	Kein Ereignis
20- bis 40-Jährige	6,128	5,105 – 7,151
40- bis 60-Jährige	6,213	5,444- 6,981
Über 60-Jährige	5,869	5,164 – 6,575

Zusammengefasst kann die Aussage getroffen werden, dass nach der röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition das Patientenalter keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hat. Dies steht im Widerspruch zur Aussage aus Kapitel 4.2.6, dass nach funktioneller Erfolgsdefinition, vor allem für jüngere Altersgruppen, eine Signifikanz vorliegt.

4.2.8 Lokalisation des Zahns als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition

Die Überlebenswahrscheinlichkeit in situ der untersuchten ersten Prämolare wird auf die Abhängigkeit des Einflusses ihrer Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer untersucht.

Es wird jeweils eine entsprechende Analyse nach Kaplan-Meier und eine Überlebensfunktion dargestellt. Im Anschluss folgt eine Analyse mit der Einteilung nach Quadranten.

Lokalisation nach Kiefern

Die Gesamtanzahl der Fälle und der Erfolge bzw. Misserfolge sind nach der Lokalisation nach Kiefern in Tabelle 10 aufgeführt. Hierbei ist kein eindeutiger Trend zu erkennen.

Tabelle 10: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Oberkiefer	222	51	171	77,0
Unterkiefer	176	52	124	70,5

Wie in Abbildung 40 zu sehen, zeigt das Diagramm einen niedrigeren Verlauf der Überlebensrate der ersten Prämolaren des Unterkiefers. Dies trifft auf den Zeitraum nach dem Ablauf des ersten Jahrs der Beobachtungszeit zu. In Tabelle 11 ist das zugehörige 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit dargestellt.

Tabelle 11: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
Oberkiefer	7,84	7,09 – 8,60
Unterkiefer	6,91	6,20 – 7,62

Die Überlebensraten der ersten Prämolare, je nach Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer, unterschieden sich nach Log-Rang-Test statistisch nicht signifikant ($p=0,208$). Damit stellt die Lokalisation im Kiefer keinen signifikanten Einflussfaktor auf die Überlebenswahrscheinlichkeit dar. Es lässt sich lediglich eine leichte Tendenz für ein geringeres Überleben im Unterkiefer erkennen: Während die Überlebensrate erster Prämolare des Oberkiefers nach 5 Jahren Beobachtungszeit bei ca. 75% liegt, liegt sie im Unterkiefer nur bei ca. 66%. Dies wird ebenfalls durch die mittlere Überlebenszeit und das 95%-Konfidenzintervall aus Tabelle 11 unterstrichen.

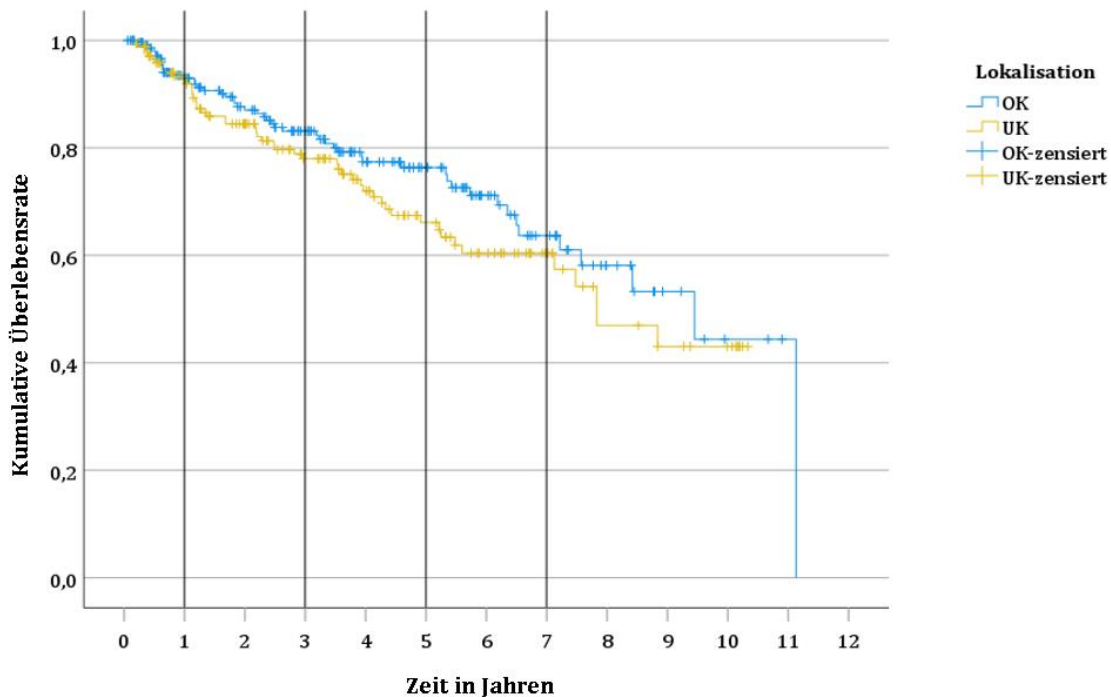


Abbildung 40: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums

Lokalisation nach Quadranten

Die Anteile der Erfolge und Misserfolge aufgeteilt nach Quadranten sind in Tabelle 13 dargestellt. Die Differenz der höchsten und niedrigsten Erfolgs- bzw. Misserfolgsrate beträgt dabei maximal 10% nach funktioneller Erfolgsdefinition.

Tabelle 12: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
14	116	29	87	75,0
24	106	22	84	79,2
34	91	26	65	71,4
44	85	26	59	69,4

Abbildung 41 zeigt die vier Überlebenszeitfunktionen der untersuchten ersten Prämolare gruppiert nach ihrer Lokalisation in den vier Quadranten: Die Kurven überlagern sich besonders innerhalb des ersten Jahrs und schneiden sich mehrfach mit zunehmender Zeit. In Tabelle 13 ist das 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit, je nach Lokalisation nach Quadranten, dargestellt.

Tabelle 13: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervalls des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
14	7,33	6,34 – 8,32
24	8,36	7,31 – 9,40
34	7,06	6,09 – 8,03
44	6,65	5,64 – 7,67

Der Log-Rang-Test zeigt, dass die Überlebenszeiten sich statistisch nicht signifikant unterscheiden ($p = 0,367$). Damit stellt die Lokalisation der ersten Prämolare nach Quadranten keinen signifikanten Einflussfaktor dar.

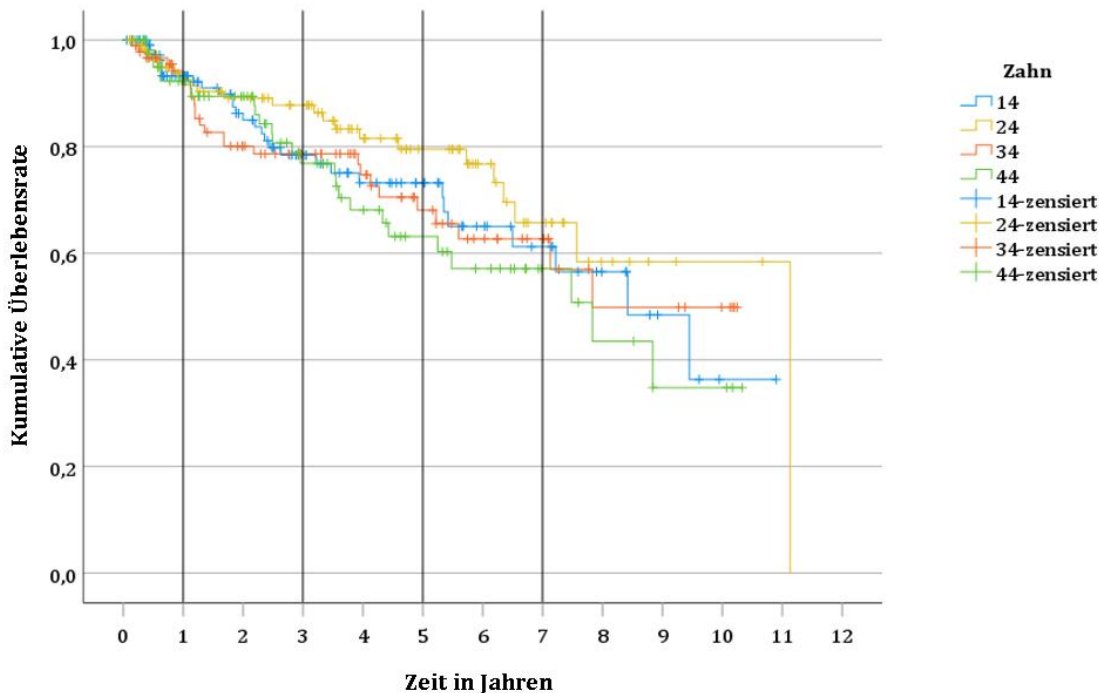


Abbildung 41: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Quadranten nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende ihres individuellen Beobachtungszeitraums

Betrachtet man nur die Werte bzw. die graphische Darstellung der ersten Prämolare der Quadranten mit der höchsten (24) bzw. niedrigsten (44) mittleren Überlebenszeit ergibt sich die Überlebensfunktion in Abbildung 42. Die Prüfung auf Signifikanz mit Hilfe der Anwendung des Log-Rang-Tests ergibt einen p -Wert von $p = 0,078$. Demzufolge kann für den Unterschied dieser beiden Quadranten ebenfalls keine statistische Signifikanz

nachgewiesen werden. Es kann lediglich eine leicht höhere Überlebenswahrscheinlichkeit des Zahns 24 festgestellt werden (siehe auch Tabelle 13).

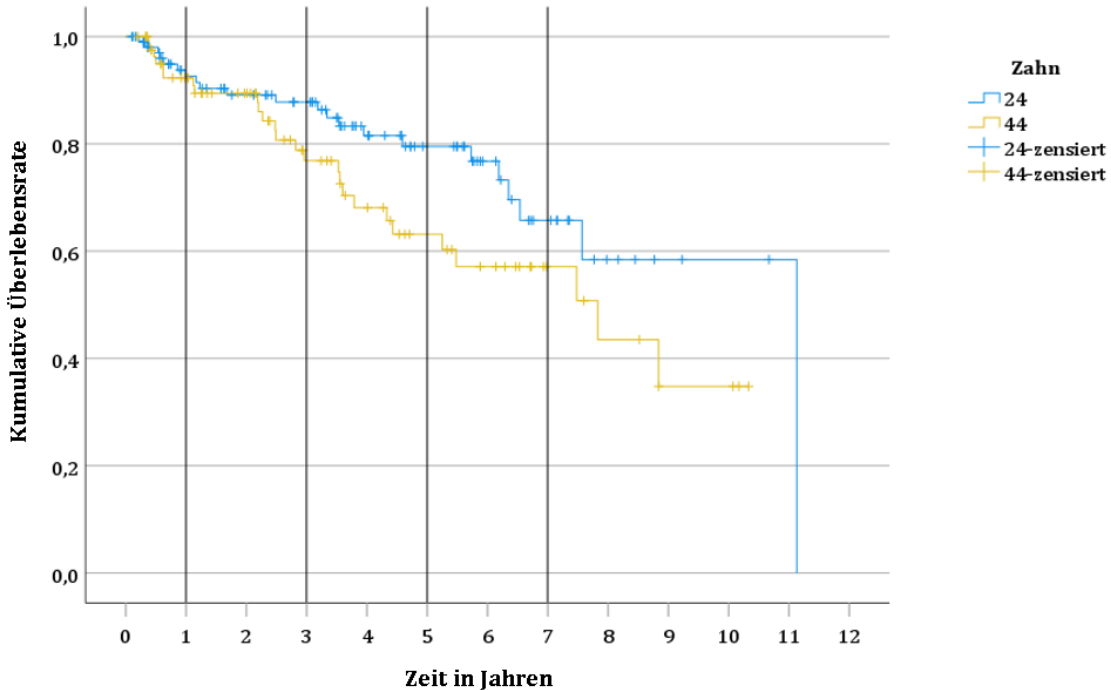


Abbildung 42: Überlebensfunktion der beobachteten ersten Prämolare gruppiert nach Lokalisation im zweiten ($n = 106$) und vierten ($n = 85$) Quadranten nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende ihres individuellen Beobachtungszeitraums

4.2.9 Lokalisation des Zahns als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Die Erfolgswahrscheinlichkeit der untersuchten ersten Prämolare basierend auf den Kriterien der strengeren röntgenologischen Erfolgsdefinition, wurde in den folgenden Diagrammen auf die Abhängigkeit des Einflusses ihrer Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer und nach Quadranten untersucht.

Lokalisation nach Kiefern

In Tabelle 14 ist die Verteilung der Anzahl der Misserfolge und Erfolge dargestellt. Wie zu erwarten, steigt die Misserfolgsanzahl nach röntgenologischer Erfolgsdefinition im Verhältnis zur funktionellen Erfolgsdefinition.

Tabelle 14: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation im Oberkiefer oder Unterkiefer“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Oberkiefer	222	84	138	62,2
Unterkiefer	176	75	101	57,4

Tabelle 15 zeigt das 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit. In beiden Tabellen ist kein eindeutiger Trend zu erkennen.

Tabelle 15: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Lokalisation im Oberkiefer oder Unterkiefer“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
Oberkiefer	6,24	5,54 – 6,93
Unterkiefer	5,87	5,21 – 6,53

Im Vergleich zur funktionellen Erfolgsdefinition in Kapitel 4.2.8 steigen die Werte der Misserfolgsereignisse in beiden Kiefern für diese Erfolgsdefinition, während die jeweiligen mittleren Überlebenszeiten sinken. Wie in Abbildung 43 zu sehen, zeigen die beiden Funktionen der ersten Prämolaren in unterschiedlichen Kiefern einen sehr nah beieinander liegenden Verlauf. Die Kurven schneiden sich über den Zeitraum der Beobachtungszeit mehrfach. Im Vergleich zu Abbildung 40 zeigen die beiden Funktionen in Abbildung 43 keinen so deutlichen Trend einer niedrigeren Erfolgswahrscheinlichkeit der ersten Prämolaren des Unterkiefers im Vergleich zu denen des Oberkiefers.

Der Log-Rang-Test bestätigt dies und zeigt einen Signifikanzwert von $p = 0,612$. Die Lokalisation im Kiefer kann hiermit als Einflussfaktor der Erfolgswahrscheinlichkeit für erste Prämolare ausgeschlossen werden.

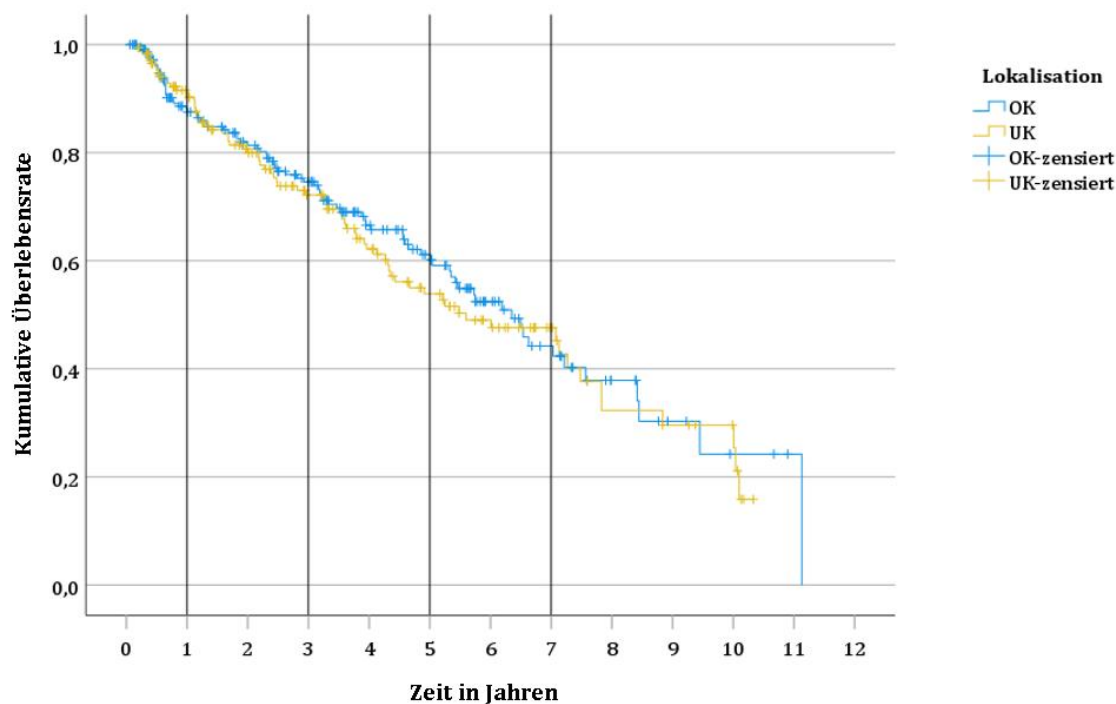


Abbildung 43: Überlebensfunktion aller beobachteten Fälle ($n = 398$) gruppiert nach Lokalisation im Ober- oder Unterkiefer nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis am Ende des Beobachtungszeitraums.

Lokalisation nach Quadranten

Die Anzahl der Erfolgs- und Misserfolgsereignisse sind in Tabelle 16 aufgelistet. Auch hier steigen die Misserfolgsereignisse und es ist kein eindeutiger Trend zu erkennen.

Tabelle 16: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
14	116	29	87	75,0
24	106	22	84	79,2
34	91	26	65	71,4
44	85	26	59	69,4

Abbildung 44 zeigt die vier Überlebensfunktionen der untersuchten ersten Prämolare gruppiert nach ihrer Lokalisation in den vier Quadranten für die röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition. Die Kurvenverläufe verhalten sich ähnlich wie in Abbildung 41 aus Kapitel 4.2.8.

In Tabelle 17 findet man die mittlere Überlebenszeit und das 95%-Konfidenzintervall für jeden Quadranten. Es ist zu erkennen, dass die Differenzen der mittleren Überlebenszeiten zwischen den einzelnen Quadranten gering sind.

Tabelle 17: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Lokalisation nach Quadranten“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
14	5,92	4,98 – 6,86
24	6,51	5,52 – 7,49
34	5,86	4,97 – 6,76
44	5,81	4,84 – 6,79

Der Log-Rang-Test zeigt, dass die kumulativen Überlebensraten sich statistisch nicht signifikant ($p = 0,692$) unterscheiden. Damit stellt die Lokalisation der Prämolare in den Quadranten auch für die röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition keinen signifikanten Einflussfaktor dar.

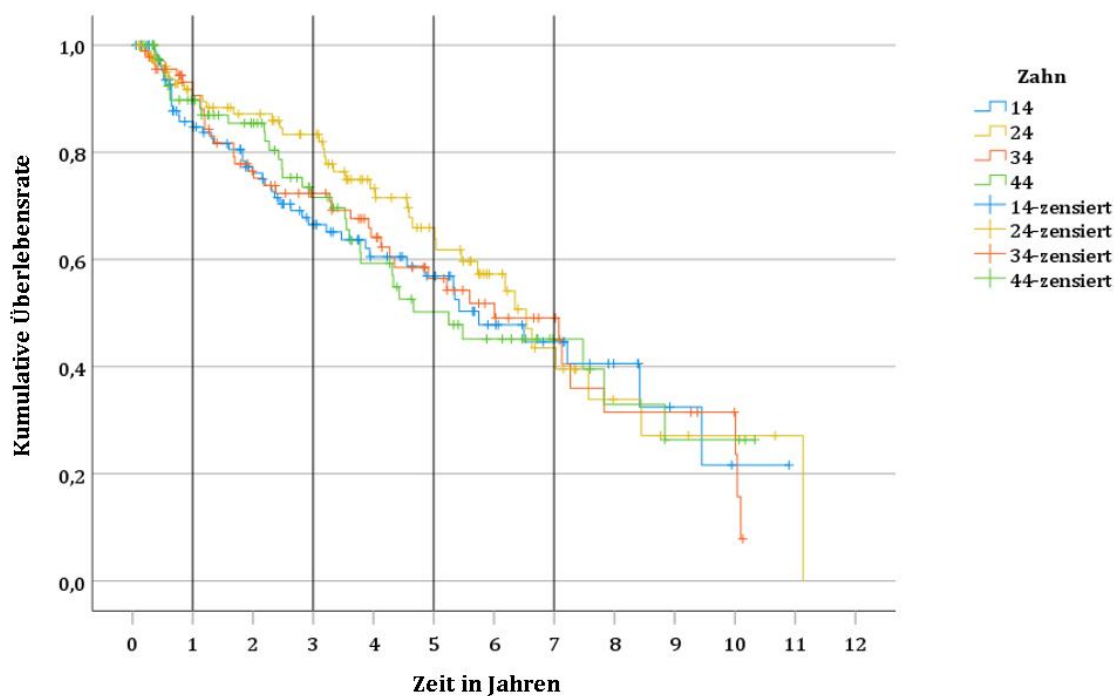


Abbildung 44: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) gruppiert nach Lokalisation im zweiten und vierten Quadranten nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums

4.2.10 Präendodontischer Vitalitätsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition

In den folgenden beiden Kapiteln wird untersucht, ob der präendodontische Vitalitätsgrad einen Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeiten hat. Zur Häufigkeitsverteilung des präendodontischen Vitalitätsgrads vergleiche Kapitel 4.1.5. In diese Untersuchung fließen $n = 146$ als vital dokumentierte erste Prämolare und $n = 116$ devital dokumentierte erste Prämolare ein. In Tabelle 18 werden die zugehörigen Erfolge bzw. Misserfolgsereignisse aufgelistet. Es ist zu beachten, dass in diese Untersuchung nur jene erste Prämolare eingegangen sind, die eine endodontische Primärbehandlung erhalten haben und $n = 93$ Fälle nicht eindeutig vom Behandler dokumentiert wurden.

Tabelle 18: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
vital	146	36	110	75,3
devital	116	29	87	75,0

Wie in Abbildung 45 zu sehen, zeigt das Diagramm eine Tendenz für schlechtere Überlebenswahrscheinlichkeiten bei ersten Prämolaren, die zum Zeitpunkt der Trepanation devital waren. Der Log-Rang-Test ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,151$. Damit kann

für diese funktionelle Erfolgsdefinition davon ausgegangen werden, dass der präendodontische Vitalitätsgrad kein signifikanter Einflussfaktor auf die funktionelle Überlebenswahrscheinlichkeit darstellt. Dies wird durch das 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit aus Tabelle 19 bestätigt. Ein vitaler Ausgangszustand erhöht die Lebensdauer im Mittel um ein Jahr.

Tabelle 19: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ ohne Revisionen nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
vital	8,05	7,24 – 8,87
devital	7,05	5,99 – 8,12

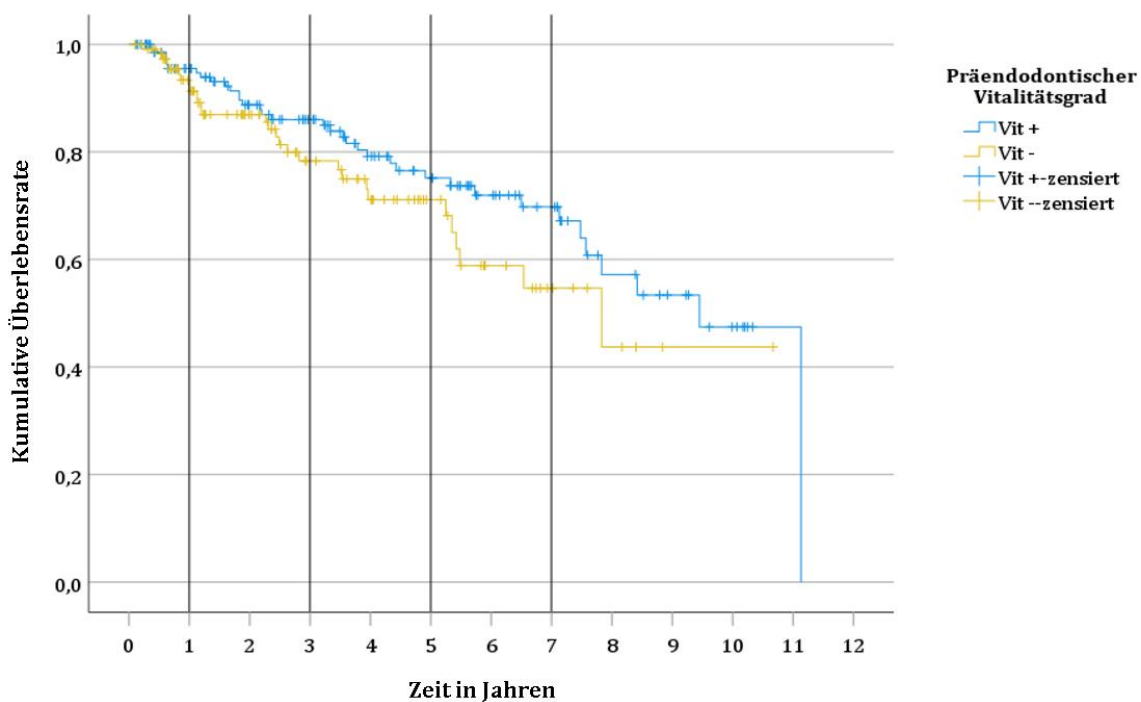


Abbildung 45: Überlebensfunktion der ersten Prämolare mit dokumentiertem Vitalitätsgrad ($n = 262$) zum Zeitpunkt der Trepanation gruppiert nach positiver und negativer Vitalität nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.

4.2.11 Präendodontischer Vitalitätsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Abbildung 46 zeigt die Überlebensfunktionen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition der zum Zeitpunkt der Trepanation als vital und devital dokumentierten ersten Prämolare. Tabelle 20 zeigt die Anzahl der Erfolge bzw. Misserfolge in Abhängigkeit des Präendodontischen Beherrungsgrads. Wie im vorangegangenen Kapitel 4.2.10 werden Revisionen nicht mit einbezogen.

Tabelle 20: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
vital	146	36	110	75,3
devital	116	29	87	75,0

Die Kurvenverläufe in Abbildung 45 (funktionelle Erfolgsdefinition) und Abbildung 46 ähneln sich sehr: Auch hier lässt sich ein Trend für geringere Erfolgswahrscheinlichkeiten der zum Trepanationszeitpunkt devitalen ersten Prämolare erkennen. Dies wird auch durch Tabelle 21 bestätigt. Auch hier ist die mittlere Überlebenszeit eines vitalen präendodontischen Zustands um ca. ein Jahr höher als mit devitalem Ausgangszustand.

Tabelle 21: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Vitalitätsgrad“ ohne Revisionen nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
vital	6,46	5,7 – 7,21
devital	5,63	4,67 – 6,58

Der Log-Rang-Test ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,127$. Damit kann auch für die röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition davon ausgegangen werden, dass der präendodontische Vitalitätsgrad kein signifikanter Einflussfaktor auf die Erfolgswahrscheinlichkeit der endodontischen Behandlung der ersten Prämolare darstellt.

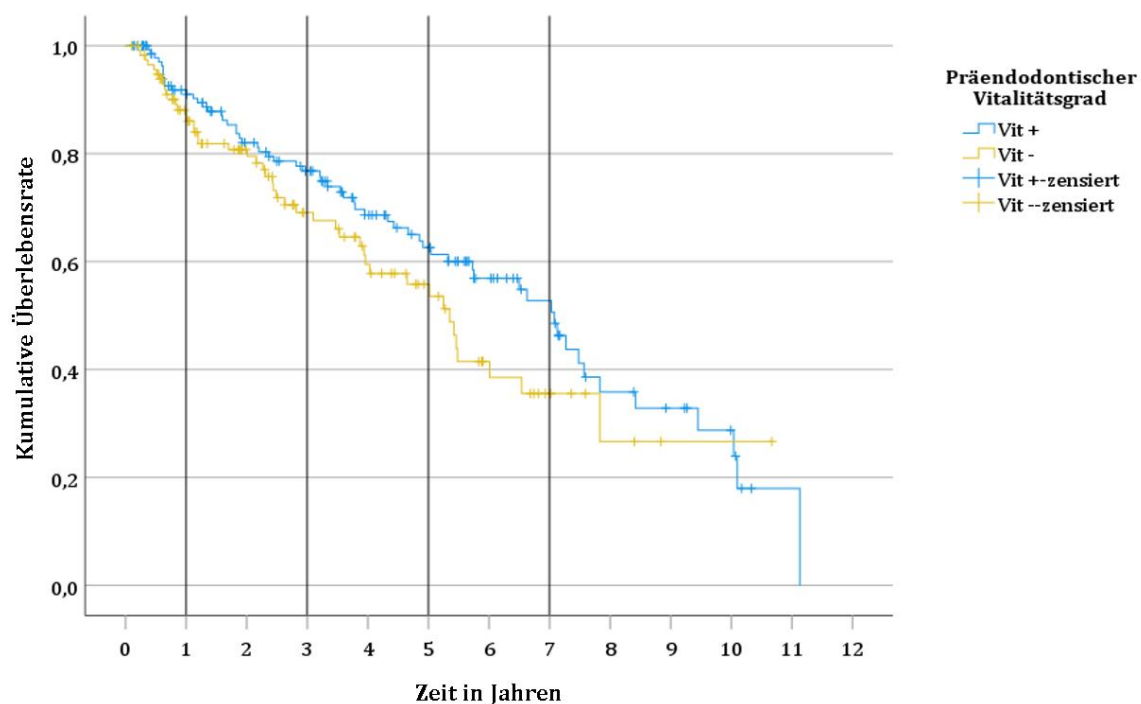


Abbildung 46: Überlebensfunktion der ersten Prämolare mit dokumentiertem Vitalitätsgrad ($n = 262$) zum Zeitpunkt der Trepanation gruppiert nach positiver und negativer Vitalität nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.

4.2.12 Präendodontischer Beherdungsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition

In den folgenden beiden Kapiteln wird untersucht, ob der präendodontische Beherdungsgrad Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeiten der ersten Prämolare hat. Dabei wird erneut nach der funktionellen und röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition unterschieden.

In Tabelle 22 ist die statistische Verteilung der Erfolge bzw. Misserfolge in Abhängigkeit des präendodontischen Beherdungsgrads dargestellt. Es ist keine große Streuung zu erkennen.

Tabelle 22: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
beherdet	206	56	150	72,8
nicht beherdet	192	47	145	75,5

Die mittlere Überlebenszeit und das 95%-Konfidenzintervall der beiden Kategorien fallen nach Tabelle 23 ähnlich aus:

Tabelle 23: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
beherdet	7,53	6,77 – 8,30
nicht beherdet	7,61	6,87 – 8,35

In Abbildung 47 verlaufen die Kurven der präendodontisch beherdeten und präendodontisch beherdungsfreien ersten Prämolare nah beieinander.

Für die funktionelle Erfolgsdefinition ergibt der Log-Rang-Test nach der Kaplan-Meier-Methode ein Signifikanzniveau von $p = 0,554$. Der Einfluss ist damit nicht signifikant. Nach dieser Erfolgsdefinition kann der präendodontische Beherdungsgrad damit als Einflussfaktor auf die Überlebenswahrscheinlichkeit erster Prämolaren ausgeschlossen werden.

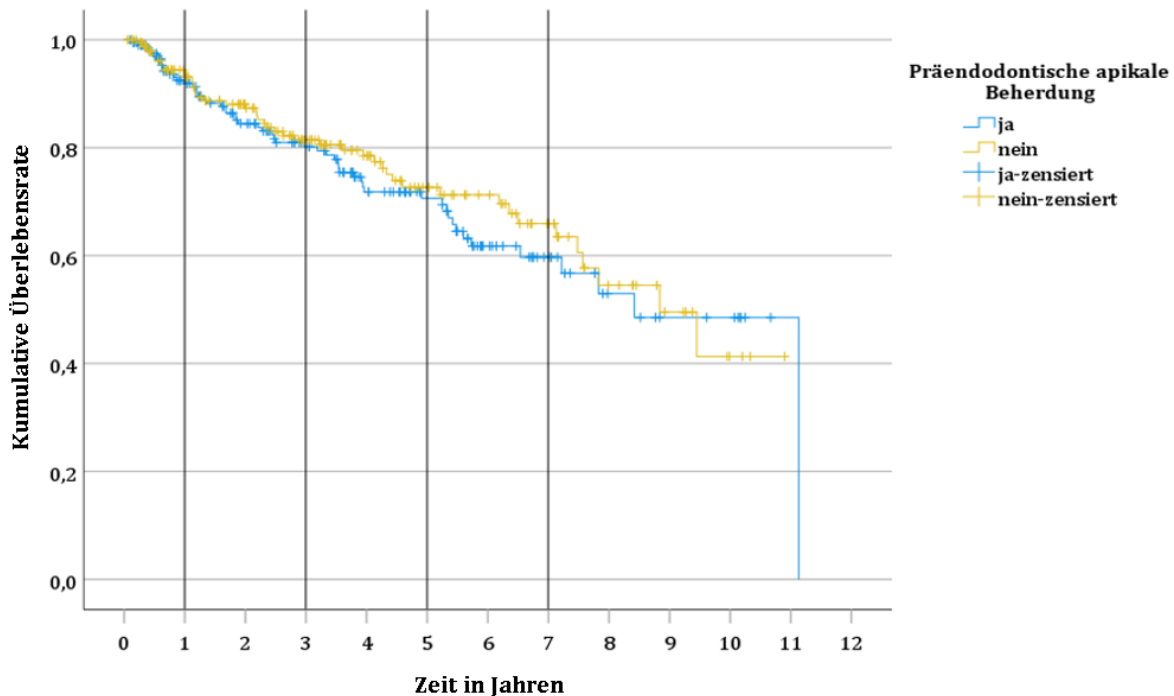


Abbildung 47: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) gruppiert nach präendodontischem Behandlungsgrad nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums

4.2.13 Präendodontischer Behandlungsgrad als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Infolge der strengeren, röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition steigt die Anzahl der Misserfolgsereignisse in beiden Kategorien. Dies kann aus Tabelle 24 entnommen werden.

Tabelle 24: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „präendodontischer Behandlungsgrad“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
beherdet	206	99	107	51,9%
nicht beherdet	192	60	132	68,8%

Die Überlebensfunktion basierend auf der röntgenologischen Erfolgsdefinition der ersten Prämolare, gruppiert nach ihrem präendodontischen Behandlungsgrad, ist in Abbildung 48 dargestellt. Im Vergleich zu Abbildung 47 (funktionelle Erfolgsdefinition) zeigen die beiden Kurven einen deutlicher voneinander getrennten Verlauf ohne Schnittpunkte. Auch das 95%-Konfidenzintervall und die mittlere Überlebenszeit der beiden Kategorien unterscheiden sich nach Tabelle 25 deutlicher.

Tabelle 25: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „präendodontischer Beherdungsgrad“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
beherdet	5,55	4,89 – 6,20
nicht beherdet	6,83	6,13 – 7,54

Der Log-Rang-Test für die röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,003$. Der Einfluss des präendodontischen Beherdungsgrads ist damit auf der Grundlage der röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition als statistisch hochsignifikant anzusehen.

Die Diskrepanz der Ergebnisse zwischen der funktionellen und der röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition des präendodontischen Beherdungsgrads weist darauf hin, dass ein rein röntgenologisch ermitteltes Kriterium zu Beginn der Behandlung keinen Einfluss auf eine klinische Auffälligkeit bzw. eine Extraktion im späteren Beobachtungszeitraum hat.

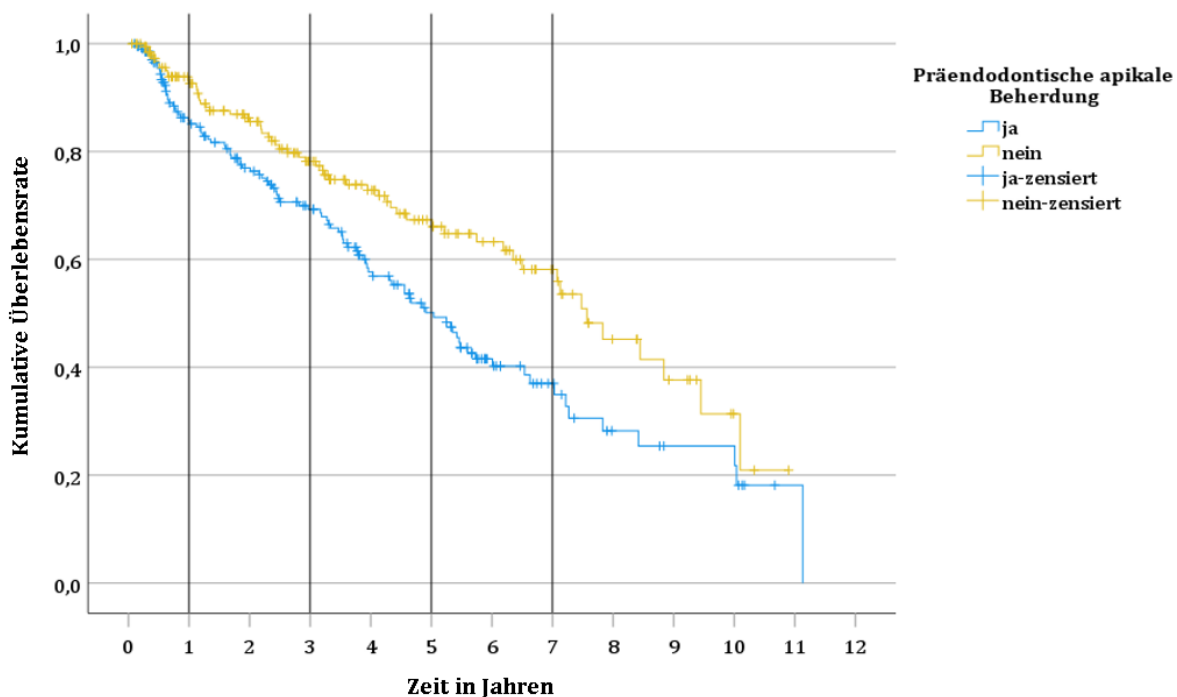


Abbildung 48: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) gruppiert nach präendodontischem Beherdungsgrad nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums

4.2.14 Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung als Einflussfaktor nach funktioneller Erfolgsdefinition

Die Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung für die funktionelle Erfolgsdefinition wird hier mittels einer Cox-Regression-Analyse beurteilt. Diese ist nötig, da die Zeitspanne eine skalare Variable ist (siehe Kapitel 3.7). Die durchschnittliche Zeitspanne

beträgt 1,68 Monate. Es ergibt sich ein Signifikanzniveau von $p = 0,65$. Somit hat die Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung keinen signifikanten Einfluss auf den Erfolg einer endodontischen Behandlung an ersten Prämolaren.

4.2.15 Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Für die röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition liegt das Signifikanzniveau bei $p = 0,97$. Auch hier kann wie im vorangegangenen Kapitel 4.2.14 kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden.

4.2.16 Postendodontische koronale Restauraionsart als Einflussfaktor des Erfolgs nach funktioneller Erfolgsdefinition

Im Folgenden wird untersucht ob für die Variable der postendodontischen Restauraionsart ein signifikanter Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit, basierend auf der funktionellen Erfolgswahrscheinlichkeit, nachgewiesen werden kann. In Tabelle 26 ist die Verteilung je Versorgungsart aufgelistet. Die häufigste Versorgungsart stellt hierbei die Komposit-Füllung gefolgt von Vollkronen dar. Es ist zu erwähnen, dass nur fünf Fälle einer Versorgung mittels Teilkrone in die Untersuchung eingegangen sind.

Tabelle 26: Anzahl der Erfolge und Misserfolge gruppiert nach postendodontischer koronaler Restauraionsart nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Komposit-Füllung	178	43	135	75,8%
Primärteleskopkronen	44	23	21	47,7%
Vollkronen	127	19	108	85,0%
Teilkronen	5	1	4	80,0%
Brückenpfeiler	44	17	27	61,4%

Abbildung 49 zeigt die Überlebensrate der untersuchten ersten Prämolare in Abhängigkeit ihrer koronalen Restauration im individuellen Beobachtungszeitraum. Hierbei sind große Unterschiede zu erkennen. Der Log-Rang-Test ergibt für den Einfluss der Art der koronalen Restauration nach funktioneller Erfolgsdefinition ein Signifikanzniveau von $p < 0,001$. Dadurch wird ein hochsignifikanter Einfluss der koronalen Restauration auf die Überlebenswahrscheinlichkeit nach funktioneller Erfolgsdefinition nachgewiesen.

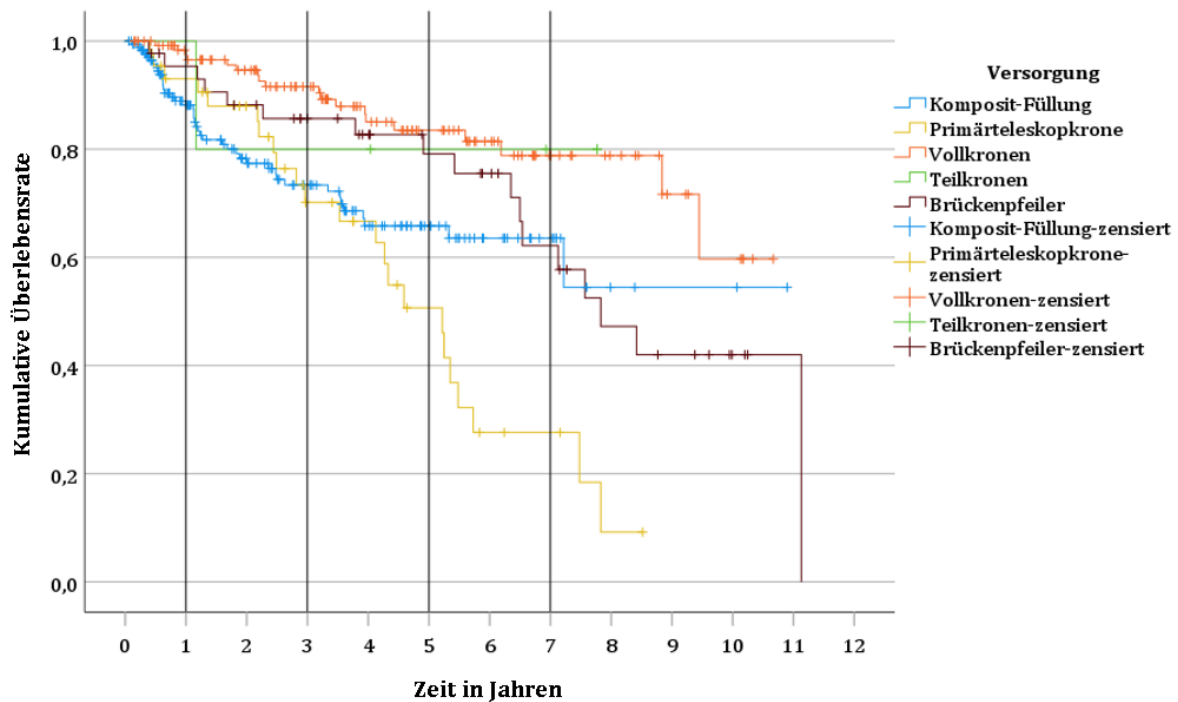


Abbildung 49: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) gruppiert nach postodontischer koronaler Restauraionsart nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums

In Tabelle 27 ist die mittlere Überlebenszeit und das 95%-Konfidenzintervall in Jahren je nach Versorgungsart dargestellt. Vollkronen haben hierbei die höchste mittlere Überlebenszeit gefolgt von Komposit-Füllungen.

Der individuelle Einfluss der jeweiligen Restauraionsart ist mittels einer Cox-Regression-Analyse ebenfalls in Tabelle 27 in Form der Hazard Ratio dargestellt. Als Referenz wird die Kompositfüllung verwendet. Die aufgeführte Hazard Ratio zeigt die Überlebenswahrscheinlichkeit im Vergleich zur Referenz. Es ist zu erkennen, dass Vollkronen ($HR = 0,37$), Teilkronen ($HR = 0,38$) und Brückenpfeiler ($HR = 0,7$) eine bessere Versorgungsart als die Referenz (Komposit-Füllung) darstellen. Die Versorgung mittels Primärteleskop ($HR = 1,63$) beeinflusst die Prognose deutlich schlechter als die Referenzversorgung.

Tabelle 27: Mittlere Überlebenszeit, 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio gruppiert nach postodontischer koronaler Restauraionsart nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren	Hazard Ratio (HR)
Komposit-Füllung	7,31	6,33 - 8,29	(Referenz)
Primärteleskopkrone	4,81	3,96 - 5,65	1,63
Vollkronen	8,85	8,12 - 9,57	0,37
Teilkronen	6,45	4,14 - 8,76	0,38
Brückenpfeiler	7,77	6,53 - 9,01	0,7

4.2.17 Postendodontische koronale Restaurationsart als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Der Einflussfaktor der koronalen Restauration nach röntgenologischer Erfolgsdefinition zeigt ein ähnliches Bild, mit etwas geringeren Erfolgsaussichten als die funktionelle Erfolgsdefinition. Einzig die Versorgung durch Kompositfüllungen verliert deutlicher als alle anderen Versorgungsarten an Erfolgchancen. Die Häufigkeitsverteilung der Erfolgs- und Misserfolgsergebnisse sind Tabelle 28 zu entnehmen. Wie in Kapitel 4.2.16 ist zu erwähnen, dass nur fünf Versorgungen mittels Teilkrone in die Untersuchung eingegangen sind.

Tabelle 28: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „postendodontische koronale Restaurationsart“ gruppiert nach postendodontischer koronaler Restaurationsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Komposit-Füllung	178	66	112	62,9%
Primärteleskopkrone	44	26	18	40,9%
Vollkronen	127	38	89	70,1%
Teilkronen	5	3	2	40,0%
Brückenpfeiler	44	26	18	40,9%

Abbildung 50 zeigt deutliche Unterschiede der einzelnen koronalen Versorgungsarten in Abhängigkeit der Überlebensrate. Ein Signifikanzniveau von $p < 0,001$ durch den Log-Rang-Test bestätigt den hochsignifikanten Einfluss der koronalen Restauration auf die Überlebenswahrscheinlichkeit nach röntgenologischer Erfolgsdefinition.

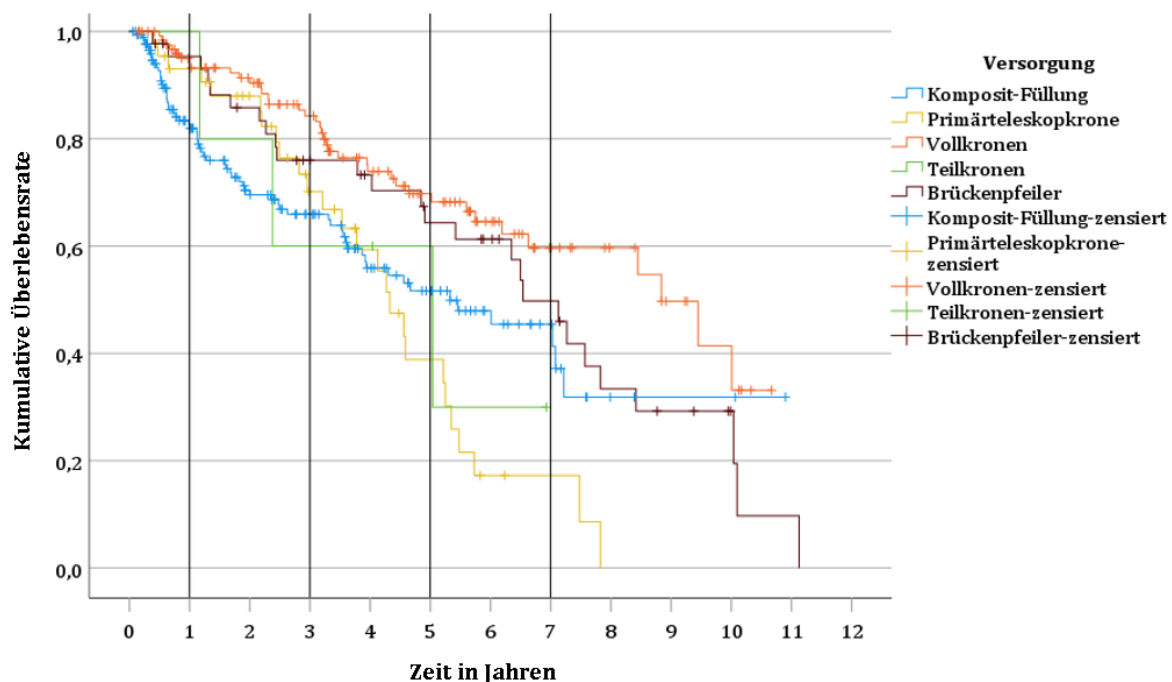


Abbildung 50: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) gruppiert nach postendodontischer koronaler Restaurationsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums

In Tabelle 29 ist die mittlere Überlebenszeit und das 95%-Konfidenzintervall in Jahren je nach Versorgungsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition dargestellt. Auch hier stellt die Vollkrone die beste Versorgung dar.

Mittels einer Cox-Regression-Analyse kann der individuelle Einfluss der jeweiligen Restaurationsart beurteilt werden. Als Referenz wird die Kompositfüllung verwendet. Die aufgeführte Hazard Ratio zeigt die Überlebenswahrscheinlichkeit im Vergleich zur Referenz. Es ist zu erkennen, dass Vollkronen ($HR = 0,48$) und Brückenpfeiler ($HR = 0,71$) eine bessere Versorgungsart als die Referenz (Komposit-Füllung) darstellen. Die Versorgung mittels Primärteleskopkrone ($HR = 1,31$) beeinflusst die Prognose deutlich schlechter als die Referenzversorgung.

Tabelle 29: Mittlere Überlebenszeit, 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio des Einflussfaktors „postendodontische koronaler Restaurationsart“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren	Hazard Ratio (HR)
Komposit-Füllung	5,72	4,84 - 6,60	(Referenz)
Primärteleskopkrone	4,32	3,58 - 5,05	1,31
Vollkronen	7,4	6,62 - 8,19	0,48
Teilkronen	4,3	2,3 - 6,3	1,1
Brückenpfeiler	6,43	5,31 - 7,55	0,71

4.2.18 Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung bis Restaurationsinsertion als Einflussfaktor nach funktioneller Erfolgsdefinition

Um die Signifikanz der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Insertion der Restauration sinnvoll zu bewerten, darf der Einfluss dieser Zeitspanne nur innerhalb derselben Versorgungsart untersucht werden. Dies wird mittels einer Cox-Regression-Analyse realisiert. Die Signifikanzniveaus der Zeitspanne in Abhängigkeit der entsprechenden Versorgungsart sind in Tabelle 30 dargestellt. Dies zeigt deutlich, dass eine Signifikanz für die Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Restauration bei Komposit-Füllungen und Vollkronen gegeben ist. (Teilkronen sind aufgrund der geringen Anzahl der Fälle ($n = 5$) statistisch nicht bewertbar). Bestätigt wird dies durch die Literaturrecherche aus Kapitel 2.6.3. Es sollte beachtet werden, dass Komposit-Füllungen in der Regel am Tag der Wurzelfüllung angefertigt werden. Für Versorgungen der ersten Prämolare als Brückenpfeiler oder mit Primärteleskopkronen konnte kein signifikanter Einfluss der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Restaurationsinsertion nachgewiesen werden.

Tabelle 30: Signifikanzniveaus der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Insertion der postendodontischen koronalen Restauration in Abhängigkeit der Restaurationsart nach funktioneller Erfolgsdefinition

Signifikanzniveau p der Zeitspanne Wurzelfüllung bis Insertion der koronalen Restauration in Abhängigkeit der Versorgungsart	
Komposit-Füllung	0,001
Primärteleskopkrone	0,817
Vollkronen	0,031
Teilkronen	0,094
Brückenpfeiler	0,960

4.2.19 Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung bis Restorationsinsertion als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Wie in Kapitel 4.2.18 wird die Signifikanz je Versorgungsart tabellarisch mittels Cox-Regression-Analyse dargestellt (Tabelle 31). Die Signifikanzniveaus aller Versorgungsarten nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition fallen geringfügig größer aus als bei der funktionellen Erfolgsdefinition. Sie sind also etwas weniger signifikant. Auch auf Basis der röntgenologischen Erfolgsdefinition kann jedoch eine Signifikanz für die Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Restauration bei Komposit-Füllungen und Vollkronen in dieser Arbeit gezeigt werden. Die Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Restorationsinsertion zeigt für Brückenpfeiler und Primärteleskopkronen in dieser Arbeit für beide Erfolgsdefinitionen keine Signifikanz.

Tabelle 31: Signifikanzniveaus der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Insertion der postendodontischen koronalen Restauration in Abhängigkeit der Restaurationsart nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Signifikanz p der Zeitspanne Wurzelfüllung bis Insertion der koronalen Restauration in Abhängigkeit der Versorgungsart	
Komposit-Füllung	0,013
Primärteleskopkrone	0,638
Vollkronen	0,084
Teilkronen	0,132
Brückenpfeiler	0,657

4.2.20 Stiftversorgung als Einflussfaktor nach funktioneller Erfolgsdefinition

In den folgenden beiden Kapiteln wird der Einfluss einer Stiftversorgung auf die kumulative Überlebensrate bewertet. Die prozentual sehr gleichverteilten Erfolgs- und Misserfolgsereignisse sind in Tabelle 32 dargestellt und das 95%-Konfidenzintervall bzw. die mittlere Überlebenszeit in Tabelle 33.

Tabelle 32: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

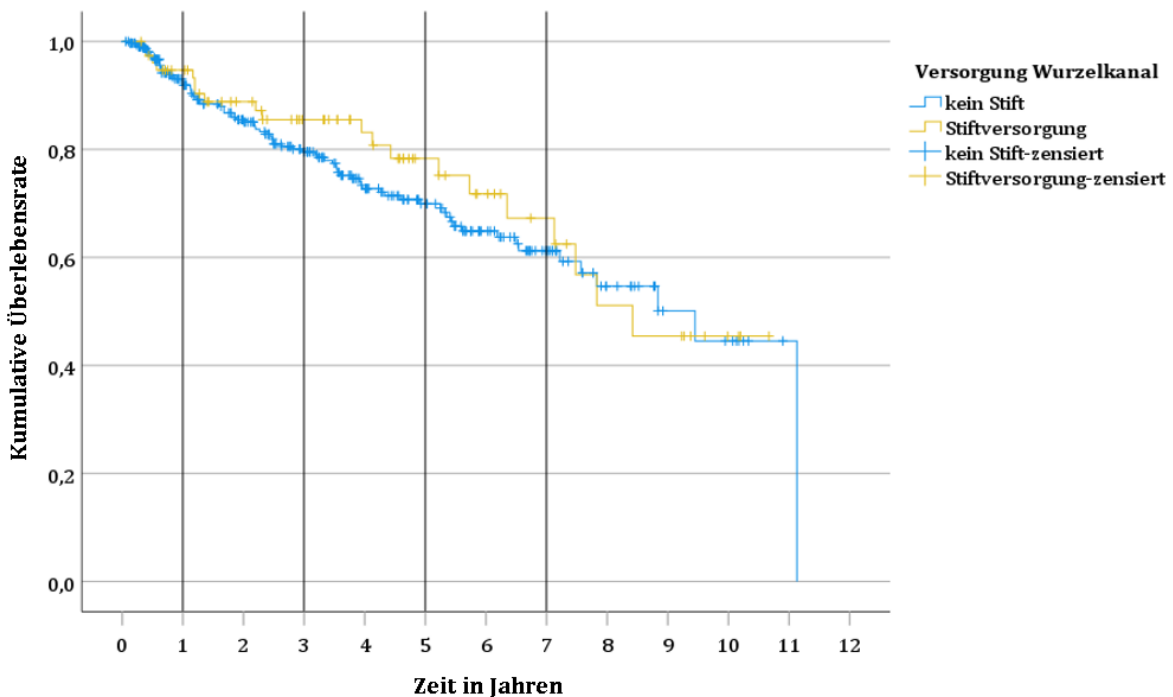
	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
kein Stift	321	83	238	74,1
mit Stiftversorgung	77	20	57	74,0

Tabelle 33: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
kein Stift	7,55	6,92 – 8,18
mit Stiftversorgung	7,66	6,64 – 8,67

Abbildung 51 zeigt die Überlebensfunktionen mit und ohne Stiftversorgung nach funktioneller Erfolgsdefinition. Die Kurven laufen sehr nah beieinander und weisen mehrere Schnittpunkte auf. Es lässt sich kein Trend erkennen.

Der Log-Rang-Test für die funktionelle Erfolgsdefinition ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,476$. Somit ist dieser Einflussfaktor als nicht signifikant zu werten. Somit hat die Stiftversorgung nach funktioneller Erfolgsdefinition keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der ersten Prämolaren.

Abbildung 51: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) in Abhängigkeit einer Stiftversorgung nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums

4.2.21 Stiftversorgung als Einflussfaktor nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

Die erneut prozentual sehr gleichverteilten Erfolgs- und Misserfolgsereignisse nach röntgenologischer Erfolgsdefinition sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
kein Stift	321	128	193	60,1
mit Stiftversorgung	77	31	46	59,7

Die Untersuchung nach röntgenologischer Erfolgsdefinition bestätigt, dass der Einfluss der Stiftversorgung auf das Überleben nicht signifikant ist. Abbildung 52 zeigt einen analogen Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeiten zum vorangegangenen Kapitel 4.2.21. Es lässt sich kein Trend erkennen. In Tabelle 35 ist die mittlere Überlebenszeit und das 95%-Konfidenzintervall angegeben. Die Werte zeigen ebenfalls eine sehr ähnliche Überlebenszeit der beiden Kategorien.

Tabelle 35: Mittlere Überlebenszeit und 95%-Konfidenzintervall des Einflussfaktors „Stiftversorgung“ nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition

	mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren
kein Stift	6,04	5,48 – 6,60
mit Stiftversorgung	6,47	5,48 – 7,46

Der Log-Rang-Test für die funktionelle Erfolgsdefinition ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0,345$. Somit hat die Stiftversorgung auch nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der ersten Prämolaren.

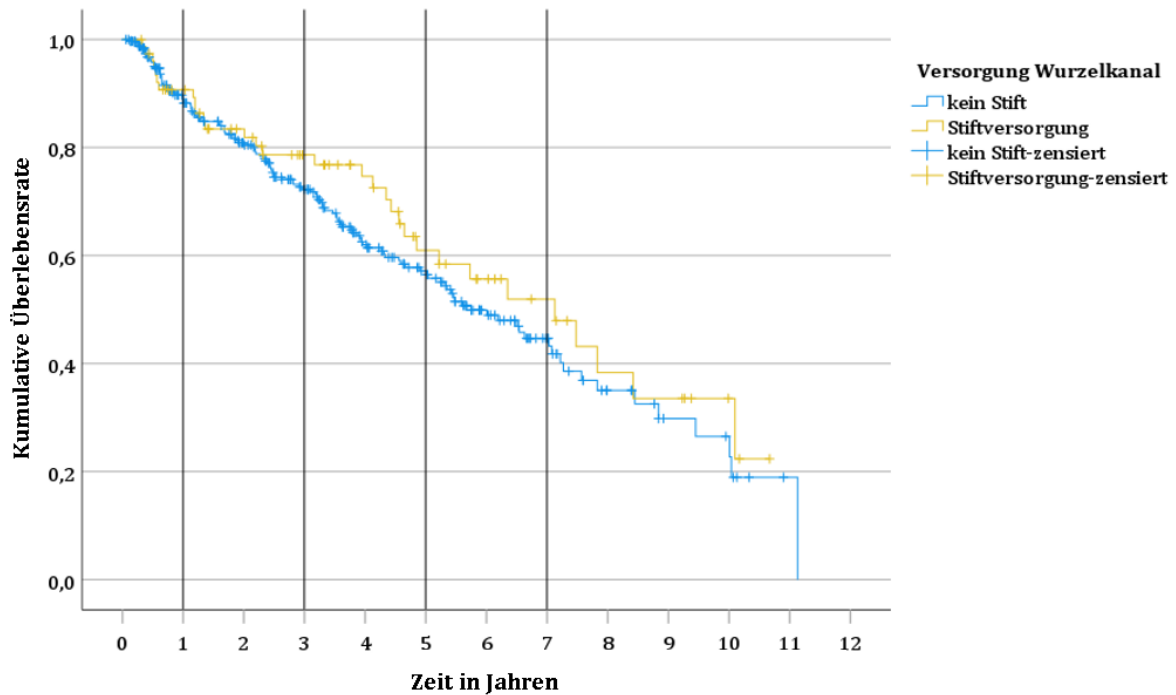


Abbildung 52: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 398$) in Abhängigkeit einer Stiftversorgung nach röntgenologisch basierter Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.

4.2.22 Postendodontische Beherdungsart als Einflussfaktor der Erfolgsrate nach funktioneller Erfolgsdefinition

Im Folgenden wird der postendodontische Beherdungsgrad als Einflussfaktor auf die Überlebenswahrscheinlichkeit untersucht. Dies macht nur nach funktioneller Erfolgsdefinition Sinn, da das Auftreten einer postendodontischen Beherdung (LEO, LPO, Paro-Endo-Läsion) innerhalb der Röntgenverlaufskontrolle nach röntgenologischer Erfolgsdefinition als Misserfolg gewertet wird.

In Tabelle 36 werden die Erfolge und Misserfolge nach postendodontischer Beherdungsart dargestellt. Es lassen sich massive Unterschiede je nach postendodontischer Beherdungsart erkennen. Hervorzuheben sind die hohen Erfolgsraten bei postendodontischer Beherdung (LEO, LPO).

In 96 Fällen konnte kein eindeutiger postendodontischer Beherdungsgrad dokumentiert werden. In diesen Fällen lag entweder kein Röntgenbild zum Zeitpunkt der Entscheidung der Extraktionswürdigkeit vor (erst wieder nach der Extraktion), teilweise war die apikale Region aber nur unvollständig oder in nicht ausreichender Qualität für eine Bewertung röntgenologisch erkennbar.

Tabelle 36: Anzahl der Erfolge und Misserfolge des Einflussfaktors „postendodontische Behandlungsart“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Gesamtzahl	Anzahl Misserfolge	Anzahl Erfolge	Erfolge in Prozent
Ohne Behandlung	199	35	164	82,4%
LEO	73	24	49	67,1%
LPO	19	12	7	36,8%
Paro-Endo-Läsion	11	11	0	0,0%

Das Diagramm in Abbildung 53 zeigt die Überlebensfunktion kategorisiert nach Behandlungsart nach der funktionellen Erfolgsdefinition. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein postendodontischer Verlauf ohne Behandlung die beste Überlebenswahrscheinlichkeit hat. Läsionen endodontischen Ursprungs (LEO) haben deutlich bessere Erfolgsaussichten als Läsionen parodontalen Ursprungs (LPO). Falls röntgenologisch eine Paro-Endo-Läsion diagnostiziert wird, besteht eine absolute Indikation zur Extraktion. Dies spiegelt ebenfalls die Ergebnisse aus Tabelle 36 wider. Der Log-Rang-Test für die funktionelle Erfolgsdefinition ergibt ein Signifikanzniveau von $p = 0.0009$. Somit ist dieser Einflussfaktor als hochsignifikant zu werten. Dies wird ebenfalls durch die Literaturrecherche in Kapitel 2.1.1 bestätigt.

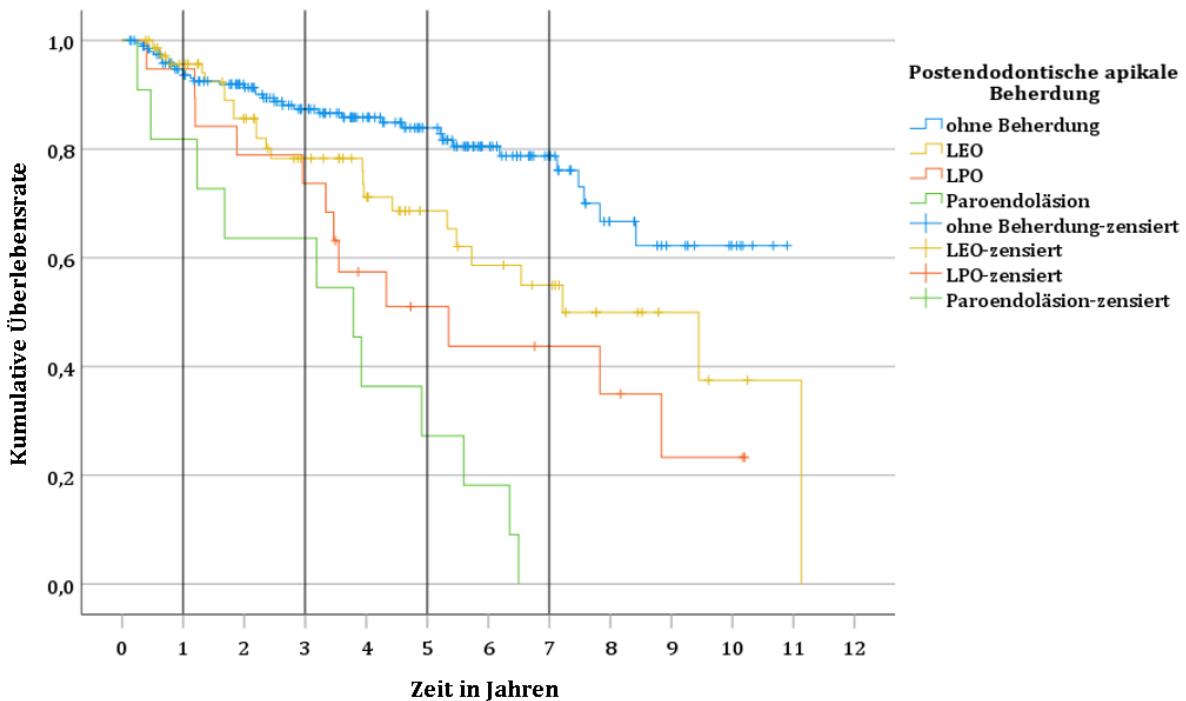


Abbildung 53: Überlebensfunktion der untersuchten ersten Prämolare ($n = 302$) in Abhängigkeit der Art der postendodontischen Behandlung nach funktioneller Erfolgsdefinition. Zensierte Fälle sind ohne Ereignis bis zum Ende des Beobachtungszeitraums.

In der folgenden Tabelle 37 ist die mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit, das 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio je nach postendodontischer Behandlungsart dargestellt. Diese Werte bestätigen erneut die vorangegangenen Aussagen. Die Werte der Hazard Ratio zeigen deutlich die Verschlechterung der Überlebenswahrscheinlichkeit in Bezug auf die Referenzvariable (ohne Behandlung) der Variablen LEO, LPO und Paro-Endo-Läsion.

Tabelle 37: Mittlere Überlebenszeit, 95%-Konfidenzintervall in Jahren und die Hazard Ratio des Einflussfaktors „postendodontische Behandlungsart“ nach funktioneller Erfolgsdefinition

	Mittlere Überlebenszeit in Jahren	95%-Konfidenzintervall in Jahren	Hazard Ratio (HR)
Ohne Behandlung	8,665	8,009 – 9,321	(Referenz)
LEO	7,257	6,077 – 8,437	1,91
LPO	5,726	4,100 – 7,352	2,97
Paro-Endo-Läsion	3,445	2,096 – 4,793	7,30

5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erfolgsbewertung endodontischer Behandlungen an ersten Prämolaren unter Zuhilfenahme röntgenologischer Auswertung, die in der Universitätsmedizin Mainz im Zeitraum von 2008 bis 2017 durchgeführt und bis 2022 röntgenologisch und schriftlich nachverfolgt wurden. Es gingen 398 endodontische Behandlungen an ersten Prämolaren an 398 verschiedenen Patienten in die Untersuchung ein.

Die Ergebnisse sollen im Folgenden kritisch diskutiert und mit den Ergebnissen, die in anderen Studien bereits erhoben wurden, verglichen werden.

5.1 Datenmaterial

In die Untersuchung gingen sowohl die durch die jeweiligen Behandler schriftlich dokumentierten Parameter, aber auch die während des Anfertigungsprozess der Wurzelkanalbehandlung angefertigten Röntgenbilder wie auch die Röntgenbilder, die im Rahmen der postendodontischen Verlaufskontrollen entstanden sind, ein. Dazu wurden sowohl die schriftliche Patientenakte im Patientendokumentationssystem VISIdent (BDV Branchen-Daten-Verarbeitung GmbH, Holzwickede, Deutschland) wie auch die zugehörigen Röntgenaufnahmen im Betriebssystem Sidexis XG 2.63 Systems (Dentsply Sirona, Charlotte, USA) berücksichtigt.

Die schriftlichen und röntgenologischen Patientenakten wurden für den Zeitraum ab individuellem Beginn der Wurzelkanalbehandlung bis zum Zeitpunkt der letzten Vorstellung des Patienten auf die zu erhebenden Daten, daneben aber auch gezielt auf Komplikationen und Zwischenfälle (z.B. anhaltende Beschwerden des Patienten, Schwierigkeiten bei der Kanalaufbereitung bis hin zu Perforation, etc.) bzw. andere Misserfolgsszenarien (z.B. Frakturen, etc.), die für den beobachteten Zahn verlaufsrelevant sein konnten, durchsucht.

Infolge der verschiedenen Behandler deren Dokumentation in die Untersuchung eingeflossen sind, die eine individuelle Dokumentationsphilosophie aber auch Behandlungsphilosophie pflegen, ist davon auszugehen, dass sowohl innerhalb der Beobachtungszeit eines Patienten und seines Prämolars, infolge der wechselnden Behandler manche Informationen nicht dokumentiert oder auch nicht erhoben wurden, die an anderer Stelle doch erhoben worden wären. Angaben klinischer Symptome (Perkussionsschmerz und Vitalitätsgrad, Druckdolenz bzw. Palpationsschmerz im Vestibulum), die ohnehin patientenindividuell verschieden wahrgenommen werden, konnten so nicht immer bei jedem

Patienten vollständig vergleichbar erhoben oder über die gesamte Beobachtungszeit hinweg nachverfolgt werden.

Der mögliche Behandlerwechsel innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraums eines Prämolars ist auf das in einer Uniklinik generell größere Angebot an Behandlern zurückzuführen, die beispielsweise im Zuge der semesterweise wechselnden Studenten in den Studentenkursen und den teilweise befristet beschäftigten (Assistenz-)Zahnärzten und Oberärzten einer stetigen Durchmischung unterlegen sind.

Viele der potenziell für die Untersuchung in Frage kommende Prämolare mussten ausgeschlossen werden, da nur Teile der Behandlung in der Universitätsmedizin stattgefunden hatten und so nicht vollständig nachuntersucht werden konnten. Gründe dafür liegen möglicherweise in der besonderen Stellung der Universitätsklinik: Viele Patienten wurden im Rahmen des Notdiensts oder der Vertretung des jeweiligen Hauszahnarzts oder infolge einer Überweisung nur einmalig oder so selten vorstellig, dass der Behandlungsverlauf nicht in Gänze nachträglich untersucht werden konnte. Ebenso könnte eine Erklärung sein, dass die Universitätsmedizin zum Teil einen Anlaufpunkt für ein besonderes Patientenklientel darstellt, das aus verschiedenen Gründen in den freien Praxen an ihre Grenzen gestoßen ist und diese Behandlung sonst so nicht erfahren hätte. Beispielsweise infolge finanzieller Einschränkungen oder da deren Behandlungsverlauf infolge körperlicher oder psychischer Erkrankungen nicht der Norm entspricht. Außerdem unterliegt auch das Patientenklientel in einer Universitätsstadt einer gewissen regelmäßigen Durchmischung.

In die Untersuchung einbezogen wurden nur erste Prämolare des bleibenden Gebisses, deren Behandlung von Vitalextraktion oder Trepanation bis Wurzelfüllung in der Universitätsmedizin Mainz behandelt wurden und anschließend mindestens eine röntgenologisch belegbare Verlaufskontrolle in der Universitätsmedizin erhalten haben. Wenn der schriftlich dokumentierte Beobachtungszeitraum über diesen röntgenologisch belegbaren Zeitraum hinausging, wurde dieser gesondert weiter erhoben und auf (schriftlich dokumentierte) Misserfolgsszenarien überprüft.

In die Erhebung des röntgenologisch belegbaren periapikalen Status gingen sowohl gezielt angefertigte Einzelzahnfilme der betreffenden ersten Prämolare ein, besonders im Rahmen der röntgenologischen Verlaufskontrollen aber auch Aufnahmen der unmittelbar benachbarten Regionen (Zahnfilme) oder auch Panoramaschichtaufnahmen bzw.

Halbseiten-Panoramaschichtaufnahmen. Voraussetzung war, dass der periapikale Bereich möglichst vollständig bezüglich einer Beherdung beurteilt werden konnte.

Revisionsbehandlungen wurden zwar anfänglich als solche dokumentiert, gingen zum Schluss aber infolge der statistisch nicht repräsentativen Zahl nicht gesondert, sondern gleichwertig wie primär endodontisch behandelte erste Prämolare in die Untersuchungen ein.

Zähne, bei denen bereits zu Beginn der Behandlung ausdrücklich dokumentiert wurde, dass diese eigentlich extraktionswürdig seien oder bereits bei Behandlungsbeginn eine prognostisch (misserfolgs-)relevante Erfahrung machten (Perforation, Verdacht auf Fraktur, o.Ä.) wurden ebenfalls aus der Studie ausgeschlossen.

5.2 Kritische Diskussion der angewandten Methoden

Neben der klinischen Diagnostik nimmt die röntgenologische Diagnostik innerhalb der endodontischen Behandlung bis heute eine tragende Rolle ein: Präendodontische Diagnoseaufnahmen und intraoperative Messaufnahmen zur Längenbestimmung, Masterpointaufnahmen und Kontrollaufnahmen nach Wurzelfüllung sind genauso therapeutisch wegweisend wie postendodontische Röntgenverlaufskontrollen zur Überwachung des endodontischen Erfolgs bzw. Misserfolgs.

Immer noch werden hierzu in den freien Praxen überwiegend konventionell angefertigte intraorale Zahnfilme oder die digitale intraorale Einzelzahnaufnahme eingesetzt [25], obwohl einige Studien der letzten Jahre die Vorteile der Verwendung neuerer Technologien wie dem DVT (Digitales Volumentomogramm) bzw. der Kegelstrahl-Computertomographie (CBCT) zum Erkennen apikaler Läsionen herausstellen konnten [236-238]. Diese dreidimensionale Diagnostik ist in diesem Zusammenhang jedoch für Patienten der gesetzlichen Versicherungen nur unter der Voraussetzung der privaten Kostenübernahme möglich und auch für privat versicherte Patienten nur unter Angabe besonderer Begründungen abgedeckt, sodass es (noch) nicht unbedingt zum gängigen Leistungsspektrum in dieser Behandlungsdisziplin gehört – besonders nicht in Praxen ohne endodontische oder chirurgische Spezialisierung.

Ausgehend von den in der Universitätsmedizin Mainz im Untersuchungszeitraum angewandten Röntgensystemen wurden in dieser Arbeit vorwiegend mittels CCD-Sensor digital angefertigte intraorale Einzelzahnaufnahmen sowie digitale

Panoramaschichtaufnahmen retrospektiv zu deren präendodontischem und postendodontischem periapikalem Status von einem einzelnen, kalibrierten Beobachter befundet. Da die Befunderhebung – sowohl klinisch als auch röntgenologisch – in der Endodontie auch für die Behandlungsprognose (infolge der Herausforderungen, die sich aus der Anatomie wie der Kanalkrümmung, der Anzahl und Position der Wurzelkanäle, der Dimension der periapikalen Osteolyse, etc.) eine Rolle spielt, kann das Einbeziehen und Untersuchen rein zweidimensionaler Röntgenaufnahmen wie in dieser Studie, dazu geführt haben, dass periapikale Osteolysen zwar klinisch bestanden haben und diese auch mittels DVT identifizierbar gewesen wären, aber auf den herkömmlichen zweidimensionalen Aufnahmen nicht oder nur teilweise zu erkennen waren. Darauf weisen die Ergebnisse verschiedener Studien hin, die sich mit der Vergleichbarkeit der Genauigkeit verschiedener Röntgentechniken zum Nachweis einer apikalen Parodontitis beschäftigen [40, 239]. Diese Nachteile hinsichtlich der verlorenen Information über die Ausdehnung der Läsion in die Tiefe möglicher apikaler Osteolysen, können infolge der Darstellung ursprünglich dreidimensionaler anatomischer Strukturen auf einer später zweidimensionalen Aufnahme (Einzelaufnahme und PSA) entstehen. Patel et al. zeigen in Ihrer Studie aus 2009 die Grenzen der zweidimensionalen Radiographie auf und benennen u. A. die verzerrte Darstellung der Geometrie anatomischer Strukturen als potentiell problematisch und stellen gleichzeitig CBCT als am ehesten geeignet für die ergänzende Röntgendiagnostik in der Endodontie heraus [238].

Anhand der vorliegenden Literatur ist der Einsatz der digitalen Röntgentechnologie bei der Anfertigung der zweidimensionalen Röntgenbilder kein Nachteil gegenüber der älteren, konventionellen Filmtechnik: Es gibt keinen signifikanten Unterschied in der Identifizierbarkeit periapikaler Osteolysen zwischen diesen beiden Techniken [239, 240]. Zusätzlich spart die digitale Bildgebung gegenüber der konventionellen Röntgen-Film-Technik an Strahlenbelastung für den Patienten [241].

Die Herausforderung der Darstellung apikaler Läsionen liegt aber nicht nur in der Röntgentechnik allein, sondern ergibt sich zum Teil auch aus der Natur der Anatomie. Läsionen, die innerhalb des spongiösen Knochens begrenzt liegen, lassen sich im Zuge der zunehmenden Dicke der bedeckenden Kortikalis nach distal, mesial besser (geringe Dicke der bedeckenden Kortikalis) und distal schlechter (stärkere Dicke der bedeckenden Kortikalis) röntgenologisch darstellen, was speziell im Unterkiefer zur Darstellung periapikaler Läsionen relevant wird [242]. Speziell für die in der vorliegenden Arbeit

untersuchten Prämolaren spricht die zuvor zitierte Studie von einer günstigeren Prognose der Identifikation apikaler Läsionen gegenüber Unterkiefer-Molaren bei gleicher Läsionsgröße [242].

5.3 Diskussion der gewählten kleinsten Untersuchungseinheit

In dieser Arbeit wurde der Zahn in seiner Gesamtheit als kleinste Beobachtungseinheit definiert. Konnte an einer Wurzel bzw. an dem ihr zugehörigen Kanalsystem eine Beherdung festgestellt werden, galt der gesamte Zahn als beherdet und die gesamte Wurzelkanalbehandlung damit als Misserfolg. Dies wird auch in anderen bisher durchgeführten Studien so angenommen [124, 132].

Vor dem Hintergrund, dass die rezidivierende Beherdung an einer Wurzel auch ggf. die Extraktion des gesamten Zahns rechtfertigen würde, erscheint dies als vertretbare, realitätsnahe Annahme.

Verglichen mit anderen Studien in denen jede Zahnwurzel bzw. jeder Wurzelkanal einzeln betrachtet wird [116, 243, 244], ergibt sich außerdem der Vorteil, dass keine Verzerrung des Behandlungsergebnis auftritt [25], in der ein mehrwurzliger Zahn zwar nur zum Teil eine Beherdung aufweist, aber dennoch das Wurzelkanalsystem als zusammenhängende Einheit in Gänze revidiert werden müsste, um einen vollständigen endodontischen Erfolg und klinische Symptomfreiheit zu erreichen [119].

5.4 Größe der untersuchten Population

Die Anzahl von 398 untersuchten Fällen von 398 verschiedenen Patienten in dieser Dissertation zählen eher zu den kleinen bis mittleren Populationsgrößen.

Generell gilt, je größer die Patientenpopulation und je länger die (Nach-)Beobachtungszeit, desto verlässlicher dienen die Ergebnisse einer epidemiologischen Studie dem Behandler als Leitfaden der Entscheidungsfindung im klinischen Alltag zur Einschätzung einer Prognose [122].

5.5 Diskussion der Ergebnisse und Vergleich mit bereits vorliegender Literatur

Wie bereits kurz im Kapitel der Literaturrecherche angesprochen, beschäftigen sich seit Jahren Studien unterschiedlichen Aufbaus damit, den Erfolg bzw. die Prognose endodontischer Behandlungen zu evaluieren. Diese Studien kommen dabei zu verschiedenen Ergebnissen:

Während in manchen Studien je nach Beherdungsgrad zu Beginn der Behandlung von Erfolgsprognosen von mindestens 70-74% und maximal 95-98% Heilungschance berichtet wird [120, 124, 245], berichten dagegen epidemiologische Studien aus ungefähr dem selben Zeitraum, dass die Prävalenz postendodontischer apikaler Parodontitis zwischen 33% [246] und 52,3% [153] liegen.

Diese massive Diskrepanz der Erfolgsraten könnten auf unterschiedliche Kriterien des Behandlungserfolgs hinweisen und darauf, wie der Erfolg bzw. Misserfolg innerhalb der Untersuchung definiert wurde.

Leider konnte immer noch keine allgemein gültige Erfolgs- bzw. Misserfolgsdefinition auf der Grundlage anerkannter Kriterien in der Endodontologie zum langfristigen Behandlungsergebnis einer Wurzelkanalbehandlung gefunden und übereinstimmend beschlossen werden. Dies bedeutet, dass sich die Ergebnisse der verschiedenen Studien schwer miteinander vergleichen lassen. Denn nur wenn die Erfolgsdefinitionen nahezu deckungsgleich oder zumindest ähnlich sind, lassen sich die Studienergebnisse zur Erfolgsquote von Wurzelkanalbehandlungen sinnvoll miteinander vergleichen. [247]

Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit zwei verschiedene Erfolgsdefinitionen angenommen und getrennt voneinander bewertet: Sowohl der funktionelle Erfolg im Sinne des Zahnerhaltes als auch die röntgenologische Beherdungsfreiheit.

Mor und Friedmann sensibilisieren dafür, dass einer Erfolgsbewertung auch immer eine Erfolgsdefinition vorangeht, die je nachdem welches individuelle Ereignis der Beurteilende als erfolgreich oder als Misserfolg festlegt, unterschiedlich ausfallen kann und somit entscheidend das Ergebnis, nämlich die Erfolgsrate, ins Positive aber auch Negative beeinflussen kann [5]. Diesen Effekt untersuchten auch Lewsey et al. (2001) und kamen zu dem Ergebnis, dass „*Der Effekt der Verwendung lockerer Kriterien zur Erfolgsbeurteilung [...] die Erfolgswahrscheinlichkeit im Vergleich zur Verwendung strenger Kriterien erheblich [erhöhte].*“ [248].

Im Umkehrschluss gilt also: Je strenger die jeweilige Erfolgsdefinition, desto tendenziell geringer die allgemein erzielte Erfolgsrate innerhalb einer Untersuchung. Wobei auch andere Ursachen als Einflussfaktoren mitverantwortlich sein können.

Möglichweise wurde, um dieser Problematik aus dem Weg zu gehen, in anderen Studien das Studiendesign so gewählt, dass bezüglich der Erfolgsdefinition die Extraktion als Misserfolg eingesetzt wurde, mit der Begründung, dass dieses Ereignis (Zahnextraktion) ein eindeutiger und international vergleichbarer Parameter sei [122]. Wenn auch den publizierenden Autoren selbst die Nachteile dieser „einfach gehaltenen“ Definition bewusst waren (nur die klinische Situation betreffend, Qualität der Wurzelfüllung, fehlende röntgenologisch belegte Kontrolle des periapikalen Situation, klinische Beschwerdefreiheit nicht beurteilt) [122].

Demzufolge sollen die Ergebnisse dieser Arbeit mit der Basis der Bewertung einer Extraktion als absolutes Misserfolgsereignis für den Patienten bzw. des Zahnerhalts als funktionellen Erfolg, auch nur mit Studien bzw. Studienergebnissen verglichen werden, deren Studiendesign ebenfalls so gewählt worden war.

Weiterhin sollen die Ergebnisse, die auf der Basis röntgenologischer Bewertung des periapikalen Heilungszustands getroffen wurden, auch mit jenen Studien verglichen werden, deren Design am ehesten dieser Erfolgsdefinition entsprochen hat.

Die vorgelegte Arbeit zeigte auf Basis der funktionellen Erfolgsdefinition (Zahnerhalt oder Zahnentfernung im Beobachtungszeitraum), ermittelte Erfolgsraten in Höhe von 92,5% nach einem Jahr, in Höhe von 80,6% nach 3 Jahren, und 71,5% nach 5 Jahren und 61,9% nach 7 Jahren Beobachtungszeit.

Im Vergleich hierzu stellte der „Barmer GEK Zahnreport 2014“ für Prämolare im Beobachtungszeitraum von 3 Jahren eine Erfolgsrate von 84,8% einer Wurzelkanalbehandlung im Sinne eines folgebehandlungsfreien Behandlungsergebnis ohne anschließende Revision, Wurzelspitzenresektion oder Zahnextraktion als Ergebnis heraus [249].

Die vorliegende Arbeit kann also im Beobachtungszeitraum von 3 Jahren ähnliche Erfolgswahrscheinlichkeiten für Prämolare feststellen.

Die Studie von Lazarski et al. aus 2001 auf Basis einer rein funktionellen Erfolgsdefinition im Zeitraum einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 3,5 Jahren hatte dagegen eine Erfolgsrate von 94,44% zum Ergebnis [121].

Für den längeren Beobachtungszeitraum von 5 Jahren fiel das Ergebnis der Studie von Chen et al. aus 2007 mit einer Erfolgsrate von 92,9% aus [250]. Ähnliche hohe

Erfolgsraten publizierten auch Alley et al. im Jahr 2004 ebenfalls auf Basis der funktionellen Erfolgsdefinition für den selben Beobachtungszeitraum von 5 Jahren: Diese schwankten je nach Behandlerqualifikation zwischen 89,7 % und 98,1 % [163].

Für eine Beobachtungszeit von 10 Jahren ermittelten Lumley et al. und auch Stoll et al. (funktionellen Erfolgsdefinition) beide ein Ergebnis zur Erfolgsrate von 74% [123, 124].

Zusammenfassend lässt sich für diese Erfolgsdefinition der Überlebensrate der ersten Prämolaren in der Mundhöhle schlussfolgern, dass die in der vorgelegten Arbeit erhobenen Erfolgsraten für die Zeiträume nach fünf und mehr Jahren Beobachtungszeit deutlich geringer ausfallen als in den zuvor zitierten Studien, mit ähnlicher Erfolgsdefinition.

Mögliche Ursachen dieser divergierenden Ergebnisse sind prädiktive Faktoren wie der präendodontische Zustand der behandelten Prämolaren, die in die vorliegende Untersuchung eingegangen sind, da dieser Zustand als maßgeblicher, prognostischer Einflussfaktor identifiziert wurde. [127-129] Außerdem kann die im Vergleich zu den zitierten Studien anderer Autoren geringere Populationsgröße der vorgelegten Arbeit zu einer niedrigeren Erfolgsrate geführt haben.

Auch weitere prädiktive Faktoren wie die präendodontische Devitalität, die in der vorliegenden Arbeit bei 52,13% lag, könnten sich negativ auf die Erfolgsrate ausgewirkt haben. Auffällig ist im Vergleich der Autoren, dass selbst bei Differenzierung der Ergebnisse hinsichtlich der Zahngruppe, nicht weiter zwischen ersten und zweiten Prämolaren unterscheiden wird, obwohl diese sich in Anatomie und Kanalkonfiguration unterscheiden können.

Kritisch ist außerdem anzumerken, dass die Gegebenheiten der Universitären Medizin mit der Durchmischung von Behandlern mit unterschiedlicher Behandlungserfahrung durchaus einen Effekt auf die Erfolgsrate gehabt haben kann.

5.6 Diskussion des Einflusses der Behandlererfahrung und des Patientenlientels

In die vorliegende Studie sind Fälle endodontischer Behandlungen an ersten Prämolaren von Behandlern mit unterschiedlicher Behandlungserfahrung und unterschiedlichen Weiterbildungsniveaus eingegangen. Endodontische Behandlungen von Studenten, Assistenzärzten aber auch Oberärzten und Professoren mit Behandlungsschwerpunkt Endodontie sind gleichermaßen ins Untersuchungskollektiv eingegangen.

Inwiefern der individuelle Erfahrungsgrad Einfluss auf die Erfolgsrate der Wurzelkanalbehandlung hatte, wurde in dieser Arbeit nicht näher untersucht.

Dennoch gibt es Studien, die sich mit diesem Thema befasst haben: Alley et al. kommen in ihrer Studie aus 2004 zu dem Ergebnis, dass endodontische Behandlungen, die von Spezialisten durchgeführt wurden signifikant erfolgreicher waren als jene der Generalisten [163]. Studentische Behandlungen wurden hier zum Vergleich nicht untersucht. Caplan und Weintraub untersuchten den Einfluss des Ausbildungsgrads des Behandlers zwar an nur 96 Fällen, konnten dafür aber keinen signifikanten Einfluss feststellen [232].

Dass die Behandlung durch Studenten in deren Ausbildungsphase innerhalb eines Universitätskrankenhauses kein negativer Einflussfaktor sein muss, betonen besonders die Ergebnisse von Dammaschke et al. in Ihrer Studie aus 2003 zum Langzeitüberleben wurzelkanalbehandelter Zähne: 85,1% der durchgeführten Wurzelkanalbehandlung wiesen eine 10-Jahres-Überlebensrate auf [132]. Auch Stoll et al. kommen in ihrer Studie zur 10-Jahres Überlebensrate an in der Universitätsmedizin der Philipps-Universität Marburg zu dem Ergebnis, dass der Behandler – qualifizierter Zahnarzt oder Zahnmedizinstudent – keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit aufweist [124].

Auch Cheung untersuchte 2002 den Einfluss der Behandlererfahrung auf das Gesamtergebnis in Form der Überlebensrate, und konnte hierfür keinen signifikanten Einfluss nachweisen, obwohl die Mehrzahl der behandelten Fälle von Studenten durchgeführt wurden. Er greift als mutmaßliche Begründung auf, dass auch in einem Lehrkrankenhaus, als komplizierter eingeschätzte Fälle an Behandler mit mehr Behandlungserfahrung (Assistenzärzte, Oberärzte, Professoren) übergeben werden, sodass dieses Vorgehen einen möglichen Mangel an Behandlungserfahrung im Individualfall für die gesamt ermittelte Überlebensrate kompensieren würde [129]. Diesen Verdacht teilen auch Stoll et al. [124]. Andreas Christian Schmalbruch schlussfolgert in seiner Dissertation aus 2006 aus den Begründungen anderer Autoren für die guten bzw. sehr guten Überlebensraten für die

von Studenten durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen, indem er auf die Anwendung moderner, standardisierter Behandlungstechniken verweist, die in Universitätskliniken üblich sind, die dort unter stetiger Aufsicht betreuender Assistenzärzte und Oberärzte an die Studenten vermittelt werden [125].

Andererseits sollte an dieser Stelle positiv hervorgehoben werden, dass in einer Sprechstunde der Universitätsmedizin, tendenziell die finanziellen Mittel des Patienten als Kriterium zur Durchführung der Behandlung hinter der tatsächlichen Behandlungsnotwendigkeit anstehen.

Bei der vorliegenden Untersuchung zur Erfolgsrate endodontischer Behandlung an ersten Prämolaren wurde die Patientenkartei auf vollständig in der Uniklinik Mainz durchgeführte Wurzelkanalbehandlungen hin untersucht, die sich anschließend vor Ort mindestens zu einem Recall vorgestellt haben, bei dem der Status des betroffenen Zahns auch röntgenologisch festgehalten wurde, sodass auch eine Bewertung des röntgenologischen Erfolgs der endodontischen Behandlung stattfinden konnte.

Leider ergab sich genau hier ein entscheidender Faktor, weshalb viele der ursprünglich in der Universitätsmedizin behandelten Zähne nicht in die Studie aufgenommen werden konnten: Entweder wurde die Wurzelkanalbehandlung nicht einmal in der Universitätsmedizin fertiggestellt oder aber der Patient erschien nach der Fertigstellung der Wurzelkanalbehandlung nicht mehr zum Recall in der Universitätsmedizin, sodass weder zum klinischen noch röntgenologischen Status des Prämolaren eine belegbare Aussage getroffen werden konnte.

Infolge des Fakts, dass bei theoretischer Vorstellung zu mindestens einem auch röntgenologisch belegbaren Recall, einige Fälle mehr in die Untersuchung hätten eingehen können, sollten die hier ermittelten Ergebnisse kritisch betrachtet werden, da ein nicht genau ermittelbarer Prozentsatz, aus nicht genau nachvollziehbaren Gründen der fehlenden Wiedervorstellung, nicht in die Studie eingegangen war. Dies kann dazu geführt haben, dass das hier ermittelte Ergebnis zur Erfolgsrate infolge dieser „Auswahl“ beeinflusst wurde. Insgesamt ergibt sich bei der Auswertung der Fälle auch die Beobachtung, dass mit zunehmendem Beobachtungszeitraum, immer weniger Fälle zum Untersuchungsgut beitragen, da weniger Recalls in zeitlich größerem Abstand stattgefunden haben.

Auch anderen Studien zeigen, dass das langfristige Nachuntersuchen schwierig gewesen zu sein scheint: Deshalb konzentrieren sich die Aussagen der Studien in überwiegender Zahl basierend auf Nachuntersuchungen von Zeiträumen von zwei bis fünf Jahren [116, 121, 163, 232, 245, 250], vier bis sechs Jahren [127] acht Jahren [122, 243] und nur selten auf 10 oder mehr Jahre [123, 125, 131, 132].

Aus welchen Gründen mit zunehmender Zeit immer weniger Patienten im Rahmen eines Recalls vorstellig werden, kann nur gemutmaßt werden: Es werden Gründe wie die „Fluktuation in Universitätsstädten“, „Wohnortwechsel der Patienten nach Beendigung des Studiums“ oder „Studienortwechsel“ genauso wie „Krankheit“ oder „Tod des Patienten“ vermutet [125, 245]. Auch „patientenindividuelle Faktoren“ wie das „Bewusstsein der eigenen Zahngesundheit“ oder die „allgemeine Verlässlichkeit hinsichtlich des Einhaltens von Terminen“ könnten dabei eine Rolle zu spielen.

Grundlegend ist festzustellen, dass sich die Behandlungsmethoden zwischen den jeweils untersuchten Populationen sicherlich unterschieden hat, gerade auch hinsichtlich der standardisierten Behandlungsdurchführung, die international Anwendung finden. Die eingesetzten Behandlungsmethoden der nicht-chirurgischen Wurzelkanalbehandlungen unterscheiden sich bereits interpersonell teilweise erheblich, waren jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Sie sind aber zur Erklärung der divergierenden Ergebnisse im Vergleich zu Studien anderer Autoren möglicherweise relevant. Gerade im klinischen Alltag ergeben sich große Unterschiede in Art und Menge des eingesetzten Materials; der Art und Durchführung der Wurzelkanalbehandlung und Anzahl der Behandlungssitzungen fulminante Unterschiede, die für die Erfolgsrate durchaus einen prognostischen Einfluss haben können. Folgend auf die vorliegende Arbeit wäre diesbezüglich eine detailliertere, weiterführende Untersuchung notwendig.

Denkbar wäre ein vollständig standardisiertes, prospektives Studiendesign am selben Zahntyp, bei dem immer das gleiche Material in der gleichen Methodik zum Einsatz kommt, um dabei Unterschiede zwischen den Behandlungen herausarbeiten zu können und hieraus einen Rückschluss auf deren Einfluss auf die Erfolgsrate der Wurzelkanalbehandlung ziehen zu können.

5.7 Diskussion der in dieser Arbeit ermittelten Erfolgsraten

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auf der Basis röntgenologischer Bewertung des periapikalen Heilungszustands ermittelte Erfolgsraten in Höhe von 90% nach einem Jahr, in Höhe von 73,6% nach 3 Jahren, 57,4% nach 5 Jahren und 45,1% nach 7 Jahren Beobachtungszeit. Im Vergleich zur funktionellen Erfolgsdefinition, zeigen sich bei Untersuchung des periapikalen Beherdungszustands deutlich geringere Erfolgswahrscheinlichkeiten in allen Beobachtungszeitpunkten.

Ursächlich hierfür ist der Umstand, dass es bereits röntgenologisch zu einem apikalen Befund am Prämolaren gekommen sein kann, bevor der betroffene Zahn klinisch auffällig wird und es beispielsweise infolgedessen zu einer Extraktion des betreffenden Zahnes kommen würde. Aufgrund dieses Umstandes wurde in der vorliegenden Arbeit beide Erfolgsdefinitionen an der gleichen Studienpopulation getrennt voneinander angewendet. Wenn also bereits das Auftreten der apikalen Beherdung eines wurzelkanalbehandelten Prämolaren als Erfolgskriterium angelegt wird, zeigen sich die resultierenden Ergebnisse schlechter, da der gleiche Prämolare nach funktioneller Definition sich noch in der Mundhöhle befinden kann (möglicherweise sogar symptomfrei) und damit als erfolgreich gewertet worden ist. Gerade im klinischen Alltag zeigt sich oft eine Diskrepanz zwischen röntgenologischem Befund und den klinisch-funktionellen Symptomen der Patienten.

Diese klinische Beobachtung war der maßgebliche Grund für die Unterteilung der Ergebnisse nach röntgenologischer und funktioneller Definition.

Benenati & Khajotia legten ihrer Studie ebenfalls eine röntgenologische Erfolgsdefinition zugrunde [244]: Die in dieser Studie als Prozentsatz als „erfolgreich“ deklarierten Fälle betrug 62,08%; weitere 28,97% wurden als akzeptabel kategorisiert.

Die – je nach Erfolgsdefinition - ermittelten Erfolgsraten wurden daraufhin auf den Einfluss verschiedener Parameter untersucht:

Insgesamt war das Verhältnis, der in die Studie eingegangenen Behandlungen an ersten Prämolaren weiblicher (50,25%) und männlicher (49,75%) Patienten sehr ausgewogen. Diese Geschlechterverteilung stimmt nahezu mit der ebenfalls ausgewogenen Geschlechterverteilung des Patientenkollektiv in der Studie von Lazarski et al. aus dem Jahr 2001 überein [121].

Dies unterscheidet sich von den Verhältnissen zwischen männlichen und weiblichen Patienten in anderen bisher durchgeführten Studien, die tendenziell eher ein mehr oder

weniger deutliches Dominieren der Frauen [123, 129, 244] oder der Männer [132] im Patientenkollektiv aufwiesen.

Sowohl für die funktionelle als auch für die röntgenologisch basierte Erfolgsdefinition konnte für die Variable des Geschlechts in der vorliegenden Studie keine Signifikanz für den Einfluss auf die Überlebensrate endodontisch behandelter erster Prämolare nachgewiesen werden.

Zu diesem Ergebnis kamen auch die Autoren einiger anderer Studien, in den dieses Thema untersucht wurde, sodass das Geschlecht als signifikanter Einflussfaktor für die Überlebens- bzw. Erfolgsrate einer endodontischen Behandlung allgemein und nun auch speziell für erste Prämolaren eher ausgeschlossen werden kann [121, 123, 129, 132, 243, 244].

5.8 Diskussion des Einflussfaktors Patientenalter

In der vorliegenden Studie lag das Patientenalter zu Beginn der Behandlung zwischen 16 und 95 Jahren. Am häufigsten war das Patientenklientel im Alter von über 60 Jahren, gefolgt von der Altersgruppe der 40–60-Jährigen, vertreten. Aus der Altersgruppe der 20–40-Jährigen gingen weniger als halb so viele Wurzelkanalbehandlungen in die Studie ein als aus der nächsthöheren Altersgruppe.

Diese Altersverteilung des Patientenkollektivs lässt sich so auch in bisherigen Studien nachvollziehen [123, 132].

Als mögliche Ursache der Häufung des Auftretens endodontischer Behandlungen bei Patienten in den zuvor genannten höheren Altersklassen werden Gründe wie die „[...] Notwendigkeit vermehrter Sekundärbehandlung nach Ablauf der Überlebensdauer der primären Füllungstherapie oder durch Sekundärkaries“ [251] oder „[...] prothetische Ursachen und vermehrte parodontale Probleme [...]“ [251] vermutet.

Patienten der höheren Altersgruppen weisen häufig ein bereits teilweise konservierend und/oder prothetisch versorgtes Gebiss vor. Infolge des bereits bestehenden Substanzverlusts – zum Teil altersbedingt, zum Teil restaurationsbedingt, zum Teil aber infolge der Karieserfahrung in den vorangegangenen Lebensjahren - ist der Schritt zur Notwendigkeit einer Wurzelkanalbehandlung geringer als bei jüngeren Patienten und gleichzeitig das Interesse groß jeden Zahn zugunsten bereits bestehender Versorgungen oder zugunsten der Vermeidung neuer Versorgungen weiter erhalten zu möchten.

In der vorliegenden Studie konnte für das Patientenalter, aufgeteilt nach Altersgruppen der Patienten, für die beiden Altersgruppen der bis 20-Jährigen und der 20-bis-40-

Jährigen ein signifikanter Einfluss auf die Erfolgsrate, basierend auf der funktionellen Erfolgsdefinition, nachgewiesen werden. Ab einem Lebensalter von 40 Jahren scheint der positive Einfluss des Patientenalters auf die funktionelle Erfolgsrate abzunehmen.

Insgesamt wird der Einfluss des Patientenalters als signifikanter Einflussfaktor für die Erfolgs- bzw. Überlebensrate endodontischer Behandlung in verschiedenen Studien bisher kontrovers eingeschätzt:

Lumley et al. (2008) schätzen das Alter des Patienten als signifikanten Einflussfaktor für das Zahnüberleben ein [123]. Caplan und Weintraub stellen das Patientenalter ebenfalls als Faktor im Zusammenhang mit dem Verlust endodontisch behandelter Zähne dar [232]. Lazarski et al. (2001) beschreiben das Patientenalter ebenso als signifikanten Risikofaktor für die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Wurzelkanalbehandlung, insbesondere da mit zunehmendem Lebensjahrzehnt der Patienten ein höheres Risiko einer anschließenden Extraktion herausgearbeitet werden konnte [121].

Lumley et al. vermuten als möglich Ursache für diesen *Zusammenhang* „[...] die möglicherweise stärker sklerosierten Kanäle bei älteren Patienten [...]“ [123] im Sinne des Auftretens von Sekundärdentins, welches den Aufbereitungsprozess erschweren kann, oder „[...] geschwächte[...] Immunsysteme [...]“ [123] älterer Patienten.

Caplan und Weintraub beleuchten als mögliche Ursache den Zusammenhang zwischen einem höheren Patientenalter und dem vermehrten Auftreten parodontaler Taschentiefen von fünf oder mehr Millimetern oder Allgemeinerkrankungen, die eine nachfolgende Extraktion wahrscheinlicher werden lassen [232].

Übereinstimmend mit Benenati & Khajotia aus dem Jahr 2002 konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch hinsichtlich der röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition kein signifikanter Einfluss des Patientenalters nachgewiesen werden [244]. Auch in weiteren Studien konnte für das Patientenalter kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden [129, 132, 243]. Ein systematischer Review zum Einfluss des erhöhten Patientenalters auf die langfristigen Ergebnisse von Wurzelkanalbehandlungen aus dem Jahr 2017 von den Autoren Shakiba et al. kommt ebenfalls zum Ergebnis, dass ein höheres Patientenalter den Erfolg einer endodontischen Behandlung nicht negativ beeinflusst [252].

Die Diskrepanz der Ergebnisse für die röntgenologisch basierte und die funktionelle Erfolgsdefinition des Einflusses des Patientenalters auf die Überlebensrate, könnte darin begründet liegen, dass bei der Entscheidung zur Extraktion bei älteren Patienten zum Beispiel im Zuge eines prothetischen Gesamtkonzepts möglicherweise öfter zugunsten einer

Extraktion entschieden wird, während bei jüngeren Patienten eher der Revision der Vorzug gegeben wird. Auf das Kriterium des Vorhandenseins einer postendodontisch röntgenologisch sichtbaren Beherdung, scheint das Patientenalter dagegen keinen Einfluss zu haben.

5.9 Diskussion des Einflussfaktors Lokalisation des Zahns nach Kiefer und Quadranten

Bei den in diese Arbeit eingegangenen Fällen wurden mehr Wurzelkanalbehandlungen an ersten Prämolaren des Oberkiefers durchgeführt als an jenen des Unterkiefers.

Betrachtet man die Häufigkeit der durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen nach der Verteilung der Quadranten, dominiert der erste Quadrant, im Oberkiefer rechts, deutlich, während hier die wenigsten Wurzelkanalbehandlungen im vierten Quadranten, im Unterkiefer rechts, durchgeführt wurden.

Dass in der untersuchten Population weniger Wurzelkanalbehandlungen im Unterkiefer notwendig waren und dort deshalb weniger durchgeführt wurden, könnte an der anatomisch günstigen Lokalisation der ersten Prämolare des Unterkiefers gelegen haben:

In der Nähe von zwei Speicheldrüsenausführungsgängen der Glandula submandibularis und der Glandula sublingualis gelegen, könnten diese beiden Speicheldrüsen für ein besonders gutes Umspülen der betreffenden Prämolare sorgen, sodass hierdurch die Kariesanfälligkeit herabgesetzt werden könnte [125]. Denn weiterhin gilt die Karies und deren Invasion der Pulpa immer noch als häufigste Ursachen für irreversible Pulpitiden [62].

In dieser Arbeit konnten weder für die Lokalisation in einem der beiden Kiefer noch für die Position in einem Quadranten ein signifikanter Einfluss auf die Überlebensrate nachgewiesen werden. Dies galt für die Basis beider Erfolgsdefinitionen gleichermaßen. Zu diesem Ergebnis bezüglich der Verteilung in Ober- oder Unterkiefer kam auch Schulte im Rahmen ihrer Dissertation aus dem Jahr 2021 [251].

5.10 Diskussion des Einflussfaktors präendodontischer Vitalitätsgrad

In der vorliegenden Arbeit wurden die zu Beginn der Behandlung in der Patientenakte vom jeweiligen Behandler dokumentierten Vitalitätsgrade erhoben und als Einflussfaktor auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der ersten Prämolare untersucht. Dies könnte infolge der wechselnden Behandler und deren Bewertung des Vitalitätsgrads theoretisch zu einer Verzerrung der tatsächlichen Verteilung geführt haben.

Es dominierten die Anzahl der vitalen ersten Prämolaren über denen der Devitalen, die in diese Studie eingegangen sind. Bei einem geringen Prozentsatz wurde eine Revision durchgeführt.

Insgesamt ist die Vitalität ein patientenindividuell unterschiedlich wahrgenommener Parameter, der deshalb skeptisch betrachtet werden sollte:

Sara Parchami erklärt die unterschiedlichen Ursachen in ihrer Dissertation anhand des möglichen Einflusses einer bereits bestehenden prothetische Restauration, die die Reizweiterleitung im Vergleich zu gesunder Zahnhartsubstanz verändert. Sie führt außerdem an, dass auch die patientenindividuelle Sensibilität einen Reiz als solchen wahrzunehmen, hierbei eine Rolle spielen könnten. [253]

Weitere Faktoren, die ein anderer Autor anführt, könnten „[...] eine vermehrte Tertiärden-tinbildung, Fehlinterpretation des Patienten, oder die ungenaue Durchführung des Sensibilitätstests durch den Behandler [...]“ [251] sein.

Im Jahr 2002 wurde eine Studie durchgeführt, die den allgemeinen Einfluss verschiedener Faktoren auf das Behandlungsergebnis einer Wurzelkanalbehandlung bewerten sollte: Hier stellten die Autoren fest, dass neben dem Vorhandensein der periapikalen Läsion und deren Größe, der präoperative Pulpastatus die einzigen Faktoren waren, die das Behandlungsergebnis signifikant beeinflussten und deshalb dazu herangezogen werden können, bereits bei Behandlungsbeginn eine Prognose bezüglich des Ergebnisses vorherzusagen [254]. Zum selben Ergebnis hinsichtlich des signifikanten Einflusses des präoperativen Pulpastatus, kam auch eine Metaanalyse zur Untersuchung der Erfolgsrate endodontischer Behandlung an devitalen und vitalen Zähnen: Die Erfolgsrate der präoperativ vitalen Zähne war signifikant höher als die Erfolgsrate jener Zähne mit bereits nekrotischer Pulpa. [162]. Kojima et al. begründen die schlechteren Erfolgsraten für devitale Zähne damit, dass deren nekrotisches Endodont häufig eine Infektion aufweist. [162]

Die Ergebnisse der zuvor zitierten Studien konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht bestätigt werden.

In dieser Arbeit zeigten die devitalen Zähne im Vergleich zu den präendodontisch vitalen Zähnen keine signifikant niedrigeren Erfolgswahrscheinlichkeiten auf. In diesem Zusammenhang lassen die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse, den Hinweis zu, dass präendodontisch devitale erste Prämolare bzw. revidierte erste Prämolare durchaus die Chance auf eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung haben – zumindest mit ähnlichem Risiko.

Grundsätzlich kann aus der vorliegenden Untersuchung keine Empfehlung für den klinischen Alltag hergeleitet werden, gegen eine Wurzelkanalbehandlung an einem devitalen oder bereits wurzelkanalbehandelten Zahn zu entscheiden.

5.11 Diskussion des Einflussfaktors Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung

In dieser Arbeit wurde für jeden ersten Prämolare, der in die Arbeit eingegangen war, der individuelle Zeitraum zwischen Beginn der Behandlung (Trepanation) und Wurzelfüllung erhoben: Während ca. 62% der Fälle innerhalb eines Monats die Wurzelkanalfüllung erhielten, weitere ca. 17% innerhalb zweier Monate nach Trepanationszeitpunkt und fast 10 % innerhalb des dritten Monats nach der Trepanation, sank der prozentuale Anteil der fertiggestellten Wurzelkanalbehandlungen tendenziell mit zunehmendem Zeitpunkt, so dass innerhalb des vierten bis zum Ende des sechsten Monats nach der Trepanation weitere 16,84% ihre Wurzelfüllung erhielten. Auf die Zeitspanne des siebten bis hin zum vollendeten 12ten Monat nach Trepanation verteilten sich genauso wenige Fälle, wie auf den Zeitraum von über 12 Monaten nach Trepanation (2,25% bzw. 2,26% der Fälle, n=9).

Für den Zeitabstand zwischen der Trepanation und der Wurzelfüllung ließ sich im Rahmen dieser Arbeit kein signifikanter Einfluss nachweisen.

In der Studie, die die Grundlage zur Dissertation von Andreas Christian Schmalbruch bildet, erhielten 48,6% der Fälle ihre Wurzelfüllung innerhalb des ersten Monats nach der Trepanation, weitere 19,7% innerhalb des zweiten und weitere 10,9% innerhalb des dritten Monats. Der Anteil der danach fertiggestellten Wurzelkanalbehandlungen nahm mit zunehmender Zeit tendenziell ab [125]. In seiner Arbeit vergleicht er diese Werte mit jenen, die für dasselbe beobachtete Intervall innerhalb der Arbeit von Stoll et al. erhoben wurden: Hier lag die Rate der innerhalb des ersten Monats fertiggestellten Wurzelkanalbehandlungen bei anfänglich deutlich höheren 60%, im zweiten Monat 15,5% und im dritten Monat bei 10,9% [124].

Zu den zuvor zitierten Werten der Marburger Studie von Stoll et al. lässt sich eine große Ähnlichkeit in der Verteilung der Ergebnisse erkennen, auch wenn unsere Ergebnisse im jeweiligen Beobachtungsmonat ein wenig höher sind.

Auch die Verteilung der Werte zur Fertigstellung der Wurzelfüllung an der Uniklinik Gießen verhalten sich ähnlich: Wurden in unserer Arbeit initial mehr Wurzelkanalbehandlungen im ersten Monat fertiggestellt als in Gießen, sind in beiden Untersuchungen die deutliche Mehrheit der Fälle innerhalb der ersten drei Monate nach Trepanation fertiggestellt worden: Gießen 79,2% und in Mainz 88,45%. Auch in Marburg betragen es 86,4%. Somit stellt sich die Verteilung in ähnlichen Grenzen dar.

Als mögliche Ursachen weshalb manche Zähne längere Intervalle zwischen Trepanation und Wurzelfüllung aufzeigen könnten, werden „[...] zumeist über lange Zeit andauernde Schmerzen, verbunden mit häufigen medikamentösen Einlagen.“ [125] als mögliche Ursache angeführt.

Einige Studien beschäftigen sich deshalb mit dem Thema inwiefern die Anzahl der Sitzungen und die damit einhergehenden Medikamentenwechsel Einfluss auf die Erfolgsprognose des Überlebens hat: Manche Autoren untersuchten beispielsweise den Einfluss einer sogenannten „single-visit“-Wurzelkanalbehandlung im Vergleich zu Wurzelkanalbehandlungen, die in zwei oder mehr Sitzungen durchgeführt wurden: Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die Anzahl der Sitzungen entweder keinen signifikanten Einfluss [255] auf den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen an Zähnen mit periapikalen Osteolysen haben, oder zu dem Ergebnis, dass die Beweise nicht ausreichen um einer Strategie den Vorzug zu geben [256, 257].

Obwohl die Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung im Rahmen dieser Dissertation erhoben und deren Einfluss untersucht wurde, wurde die individuelle Anzahl der Medikamentenwechsel und deren Einfluss nicht näher untersucht. Obwohl es denkbar wäre, dass mit zunehmender Zeitspanne zwischen Beginn und Abschluss der Wurzelkanalbehandlung mehrere Medikamentenwechsel zum Beispiel infolge anhaltender Schmerzen einhergehen könnten, ist gleichermaßen ein Nichteinhalten der angesetzten Termine zum Medikamentenwechsel oder zum Abschluss der Behandlung seitens der Patienten oder auch ganz andere Faktoren als verlängernde Ursache denkbar.

5.12 Diskussion des Einflussfaktors der Art und des Zeitpunkts der postendodontischen Versorgung

Die Verteilung, welche postendodontische Restaurationen die endodontisch behandelten Prämolaren erhalten hatten, ist in Kapitel 4.1.8 beschrieben: In den häufigsten Fällen wurden die untersuchten ersten Prämolare, nachdem sie ihre Wurzelfüllung erhalten hatten, anschließend mittels einer Kompositfüllung restauriert. Gefolgt wurde diese häufigste Restaurationsart in absteigender Reihenfolge von ersten Prämolaren, die mittels Vollkronen, Brückenpfeilern und Primärteleskopen postendodontisch versorgt wurden. Teilkronen stellten die am seltensten vorkommende Versorgungsart der untersuchten Fälle dar. In den gelisteten Fällen zur Versorgungsart konnte jeweils für den individuellen Fall im Weiteren schriftlichen und röntgenologischen Beobachtungszeitraum keine andere Restauration nachvollzogen werden.

Was allerdings zum Verfälschen der Verteilung geführt haben könnte, ist, dass in Einzelfällen bereits zu Trepanationsbeginn eine prothetische Restauration bestanden hat, deren Trepanationsöffnung nach dem Durchführen der Wurzelfüllung nur mit Hilfe einer Kompositfüllung verschlossen wurde. In diesen Fällen wäre der betreffende erste Prämolare dann zwar unter der postendodontischen Restauration „Kompositfüllung“ gelistet, hätte in Wahrheit aber eine kombinierte Restauration aus einer bestehenden indirekten Versorgung und einer mittels Kompositfüllung verschlossenen Trepanationsöffnung gehabt. Diese Fälle wurden in dieser Arbeit zwar nicht getrennt untersucht, in einer bereits durchgeführten Studie konnte aber gezeigt werden, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit *in situ* für durch Kronen oder Brücken trepanierte Zähne ähnlich ausfiel, wie für postendodontisch überkronte Zähne: Auf der Basis dieser Ergebnisse, schlussfolgert die Autorin einerseits, dass das Anfertigen einer neuen Restauration infolge der Frakturanfälligkeit bei bestehenden Restaurationen eher nicht notwendig sei, andererseits eine Neuanfertigung aber zum dichten Verschluss des Endodonts gegen eine Reinfektion beitragen und daher sinnvoll sein würde [258].

In sehr seltenen Fällen erhielten die betreffenden Prämolaren innerhalb des Beobachtungszeitraums auch mehrere aufeinanderfolgende Restaurationsarten: Beispielsweise zuerst eine Kompositfüllung und dann zu späterem Zeitpunkt eine Vollkrone. In diesen Fällen finden sich die betreffenden Fälle nur in der Verteilung der zuletzt angefertigten Restauration im Beobachtungszeitraum.

In einigen Fällen wurden nach der Versorgung mit einer Kompositfüllung zwar ein Heil- und Kostenplan zur Beantragung einer indirekten prothetischen Restauration gestellt, es konnte aber nicht belegt werden, dass innerhalb des Beobachtungszeitraums ein Einsetzen stattgefunden hat. Für diese Fälle gilt es die Kritik zu äußern, dass offensichtlich aus Sicht der Behandler eine andere Art der prothetischen Restauration indiziert gewesen wäre, diese jedoch innerhalb des Beobachtungszeitraums – oder zumindest innerhalb der Zahnklinik der Universitätsmedizin Mainz – nicht stattgefunden hat. Weshalb es nicht zur weiteren Versorgung gekommen ist, bleibt nur zu vermuten: Der Wunsch des Behandlers den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung durch das Abwarten einer klinisch symptomlosen Zwischenzeit zu unterstreichen, könnte genauso wie fehlende Compliance der Patienten, die die bestehende Restauration als ausreichend beurteilen, eine Rolle gespielt haben.

Inwiefern die individuelle Versorgungsart in dieser Arbeit Einfluss auf die Erfolgswahrscheinlichkeit bzw. die Überlebenswahrscheinlichkeit der untersuchten Prämolare hatte, zeigt Kapitel 4.2.16:

Im Vergleich zu den mit Kompositfüllungen restaurierten ersten Prämolaren zeigen die mittels Vollkrone oder als Brückenpfeiler versorgten Zähne in dieser Arbeit deutlich höhere Überlebensraten. Die Unterschiede zwischen den postendodontischen Restaurationsarten sind statistisch signifikant. Unsere Ergebnisse für erste Prämolare bestätigen damit die Ergebnisse der Literatur:

Bereits im Jahr 2007 stellten Stavropoulou und Koidis in ihrem Review zur postendodontischen Versorgung mit Einzelkronen schlussfolgernd fest, dass direkte Restaurationen nur kurzzeitig ein zufriedenstellendes Ergebnis sichern, während indirekte Restaurationen mittels Kronenversorgung eine 10-Jahres-Überlebensrate von 81% aufweisen [172]. Auch die Studie von Pratt et al. hatte zum Ergebnis, dass die Art der koronalen Restauration die Überlebenswahrscheinlichkeit signifikant beeinflusst: Hier mussten Zähne, die eine direkte Restauration aus Amalgam oder Komposit erhalten hatten mit 2,29-Mal höherer Wahrscheinlichkeit extrahiert werden, als endodontisch behandelte Zähne, die eine Krone als Restauration erhalten hatten [259].

Aquilino und Caplan stellten den Zusammenhang zwischen einer Überkronung und der erhöhten Überlebensrate endodontisch behandelter Zähne dar [171]. Salehrabi und Rotstein arbeiteten heraus, dass es einen statistisch signifikanten Zusammenhang für die koronale Höckerabdeckung der definitiven Restauration und besseren Überlebensraten wurzelkanalbehandelter Zähne gibt [122].

Die Ergebnisse von Lynch et al. betonen, dass das Überleben endodontisch behandelte Zähne bei indirekten, gegossenen Restaurationen wahrscheinlicher war, als bei indirekten Restaurationen (Amalgam, Komposit), diese Restaurationen aber immer noch zu signifikant besseren Überlebensraten geführt haben als provisorische Restaurationen [173]. Lediglich die Autoren Sequeira-Byron et al. schlussfolgern aus ihrem systematischen Review, dass es keine ausreichende Evidenz gäbe, um die Wirkung von Kronen im Vergleich zu direkten Füllungen zur Restauration von wurzelgefüllten Zähnen zu beurteilen [260]. Die Gruppe der Teilkronen stellen in unserer Arbeit mit einer Anzahl von 5 Fällen zwar eine sehr kleine Untersuchungsgruppe dar, weisen aber, was die funktionelle Erfolgsdefinition betrifft, ein gutes Gesamtüberleben auf. Diese Ergebnisse könnten den Eindruck vermitteln, dass die Komponente der Höckerabdeckung bei einer Teilkronenrestauration im Vergleich zu direkten Restaurationen einen zusätzlichen stabilisierenden Effekt aufweist. Dies würde die Ergebnisse anderer Autoren unterstützen [187, 261].

Die zuvor genannten Studienergebnisse und unsere eigenen Ergebnisse weisen die Tendenz auf, dass sich eine postendodontische höckerumfassende indirekte Kronenrestauration zugunsten der Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit auch für erste Prämolare lohnt. Dies könnte sowohl mit der Reduktion der Frakturanfälligkeit [262] als auch mit der Verhinderung einer Reinfektion des Kanalsystems infolge eines dichten postendodontischen Verschlusses [187] im Zusammenhang stehen.

In unseren Ergebnissen ist auffällig, dass die Versorgung mit einer Primärteleskopkrone von den indirekten Restaurationen als postendodontische Restauration erster Prämolare deutlich geringere Überlebensraten zeigt: Man könnte annehmen, dass dies mit den Abzugskräften, die der Zahn im Zuge dieser Versorgung erfährt, zusammenhängen könnte. Eine weitere im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Zeitspanne war die, zwischen Fertigstellung der Wurzelkanalfüllung und Einsetzen der definitiven Restauration.

Für die Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und der postendodontischen Versorgung mittels Kompositfüllung sowie für die Restauration mittels Vollkronen konnte in dieser Arbeit ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden. Auch die zuvor bereits zitierte Studie von Pratt et al. aus 2016 untersuchte speziell den Einfluss der Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Kronenrestauration: Dort konnte nicht nur ein signifikanter Zusammenhang für den Zeitpunkt der Kroneninsertion und der Überlebenswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden, sondern auch herausgestellt werden, dass das Überschreiten des Zeitraums von 4 Monaten nach Fertigstellung der Wurzelkanalbehandlung bis zum

Einsetzen der Krone in dieser Studie dazu führte, dass mit fast 3-fach höherer Wahrscheinlichkeit eine Extraktion des Zahns durchgeführt werden musste [259].

Unsere Ergebnisse hinsichtlich der Untersuchung, ob die postendodontische Insertion eines Stifts einen Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hatte, zeigten zwischen den beiden Gruppen für erste Prämolare – mit und ohne Stiftaufbau – für beide Erfolgsdefinitionen keinen signifikanten Unterschied.

Dies passt zu den Ergebnissen, die andere Autoren bisher veröffentlichten: Beispielsweise die Autoren Sjögren et al. stellten in ihrer Studie fest, dass der Parameter „Stift“ oder „kein Stift“ keinen Einfluss auf den langfristigen Erfolg der Behandlung hat [243]. Auch Nykiel konnte in der im Rahmen ihrer Dissertation durchgeführten Untersuchung keinen signifikanten Unterschied der Prognose für Zähne mit Kronenversorgungen mit oder ohne Stiftaufbau feststellen [258]. Die Autoren Assif et al. untersuchten den Einfluss von Stiften unterschiedlichen Designs sogar speziell an einem Pool aus Prämolaren in vitro und konnten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen mit oder ohne Stiften restaurierten Zähne feststellen [263]. Auch Nothdurft et al. konnten bezüglich der Frakturresistenz bei der Restauration endodontisch behandelter Prämolare mit Kronen und Stiften oder Kronen allein keinen statistisch signifikanten Unterschied in den Bruchlasten erkennen [264].

Auf der Basis dieser übereinstimmenden Ergebnisse, lässt sich die Annahme argumentieren, dass nicht jeder endodontisch behandelte Zahn eine Stiftinsertion zugunsten einer Verbesserung der Überlebensrate benötigt.

Es finden sich aber auch ganz andere Ergebnisse: Beispielsweise zeigen die Ergebnisse von Willershausen et al., dass Zähne ohne postendodontischen Stiftaufbau bessere Erfolgsprognosen aufweisen als Zähne mit postendodontischem Stiftaufbau [177].

Auch die Ergebnisse von Furuya et al., die die Bruchfestigkeit endodontisch behandelter Prämolare untersuchten und zeigen, dass mit Glasfaserstiften restaurierte Zähne signifikant höhere Bruchlasten bis zur Fraktur aushielten [265]. Sehr ähnlich sahen die Ergebnisse der in-vitro Studie von Thakur et al. ebenfalls an Prämolaren aus: Restaurationen mit Glasfaserstiften bei endodontisch behandelten Prämolaren wiesen höhere Bruchlasten auf [266]. Diese Aussage bestätigt auch ein systematischer Review zu diesem Thema aus dem Jahr 2021 [267].

Diese Begünstigung oder auch Verschlechterung der Prognose konnte anhand der vorliegenden Ergebnisse in dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Außerdem sollte man kritisch

anmerken, dass die Aussage über Erfolg bzw. Misserfolg der endodontischen Behandlung auch bei postendodontischen Stiftaufbauten nicht nur auf der Frakturresistenz basieren sollte.

5.13 Diskussion der Extraktionsursachen

Von den insgesamt untersuchten 398 ersten Prämolaren wurden 25,88% innerhalb des Beobachtungszeitraums entfernt, oder zumindest zur Extraktion erklärt. Dieser Anteil fällt in unserer Untersuchung deutlich höher aus, als bei zuvor durchgeführten Studien [19, 258].

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich die Gründe für Extraktionen der hier untersuchten ersten Prämolaren nicht nur aus speziell endodontisch begründbaren Problematiken zusammengesetzt haben, sondern darüber hinaus auch Frakturen (Quer- und Längsfrakturen), parodontale Schädigung und kariöse Tiefzerstörung haben zur Extraktion geführt haben. Die absolute Indikation zur Extraktion der hier angeführten ersten Prämolare, war manchmal nicht eindeutig in der Dokumentation benannt. In manchen Fällen ist auch eine Kombination mehrerer Faktoren denkbar.

Die Wurzelkanalbehandlung selbst (persistierende periapikale Aufhellungen) hat in dieser Untersuchung zwar bei circa einem Drittel der ersten Prämolare, die entfernt werden mussten, den führenden Grund zur Extraktion geliefert; im Umkehrschluss ist dies bei 2/3 der Fälle aber nicht der Fall gewesen.

Diese Ergebnisse können in der Vielzahl an weiteren Behandlungsmöglichkeiten nach bereits abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung begründet sein (zum Beispiel erneute Revision oder Wurzelspitzenresektion). Dennoch ist auffällig, dass 38,83% der extrahierten ersten Prämolare und damit der größte Anteil eine Querfraktur aufwiesen, die anschließend für die Extraktion ursächlich war. Zählt man die Gruppe der horizontalen und der Längsfrakturen unter dem Begriff „Frakturen“ zusammen, beträgt der Anteil dieser Gruppe nahezu 50% und damit die Hälfte der Gründe, weshalb es zu einem absoluten Misserfolgsereignis kommt.

Dies stimmt ungefähr mit der von Vire ermittelten Zahl überein: In seiner Untersuchung zur Ursache des Versagens endodontisch behandelter Zähne aus dem Jahr 1991 mussten 59,4% extrahiert werden, „[...] die in erster Linie auf einen Kronenbruch zurückzuführen waren.“ In der zitierten Studie konnte dagegen nur ein kleiner Teil von 8,6% der Extraktionsursachen auf eine endodontische Ursache zurückgeführt werden. [268]

Im klinischen Alltag kann bei zuvor wurzelkanalbehandelten Zähnen eine zunehmende Versprödung beobachtet werden. Die Ursachen für diese bekannte Beobachtung sind noch nicht abschließend geklärt. Für weitere Untersuchungen zur Klärung des Phänomens der Frakturen wäre die Position der ersten Prämolaren in Bezug auf ihre Gefährdung bei Laterotrusionsbewegungen besonders zu untersuchen.

R. Teeuwen kommt in seiner Untersuchung aus dem Jahr 2004 zu den Ursachen und Gründen des Versagens endodontisch behandelter Zähne zu dem Ergebnis, dass besonders Prämolare infolge von Frakturen auffallend häufig einer Extraktion zum Opfer fallen: Sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer wurden mit 20,4% (OK) bzw. 17,3% (UK) mussten jeweils die meisten Vertreter aus der Zahngruppe der Prämolaren entfernt werden. [269]

Auch A. Schmalbruch konnte in seiner Dissertation aus dem Jahr 2006 anhand seiner Ergebnisse zeigen, dass besonders Prämolare infolge von Frakturen auffallend häufig einer Extraktion zum Opfer fallen [125].

Auch bei Hansen et al. wiesen die oberen Prämolaren die niedrigsten Überlebensraten auf; hier wurden allerdings nur Zähne untersucht, die eine MO- oder MOD-Kavität aus Amalgam ohne Höckerauflagen als postendodontische Versorgung erhielten. Die Autoren schlussfolgern in diesem Zusammenhang, dass „[...] Amalgam, insbesondere in MOD-Kavitäten, ein inakzeptables Material für die Restaurierung endodontisch behandelter Seitenzähne ist, wenn es ohne Höckerauflagen verwendet wird.“ [183]. Es wird hier also mehr ein Zusammenhang mit dem Material als mit der Zahngruppe vermutet. [183]

Eine andere Untersuchung, der eine sehr große Population in Höhe von 390343 Prämolaren zugrunde liegen (Anteil von 27% der insgesamt untersuchten Zähne), konnte zwischen den Zahngruppen keinen signifikanten Unterschied feststellen [122]. Zu diesem Ergebnis kamen auch andere Autoren [132].

5.14 Schlussfolgerungen & Ausblick der eigenen Arbeit

Aus der vorliegenden Arbeit lässt sich zusammenfassend schlussfolgern, dass ein primärer Zahnerhalt im Falle von endodontisch behandelten ersten Prämolaren durchaus sinnvoll ist, da sich eine kumulative Überlebenswahrscheinlichkeit von 74,12% (mittlere Überlebenszeit von 7,605 Jahren) nach funktioneller Erfolgsdefinition ergeben haben. Auch nach der strengeren röntgenologisch basierten Erfolgsdefinition ergibt sich als mittlere Überlebenszeit noch eine Dauer von 6,14 Jahren (60,05% Überlebenswahrscheinlichkeit). Unter dem Aspekt, dass für den Patienten am ehesten die klinische Beschwerdefreiheit in Kombination mit der funktionellen Belastbarkeit für die Beurteilung des Erfolgs einer Wurzelkanalbehandlung naheliegt, könnte sich eine Tendenz in Richtung der nach funktionellen Erfolgsparametern ermittelten Erfolgswahrscheinlichkeit ergeben.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass auch die große Mehrheit der anderen Studien zu dem Ergebnis kommen, dass eine Wurzelkanalbehandlung als sinnvolle Maßnahme des Zahnerhalts gilt. Dennoch gilt es anzumerken, dass die in unserer Arbeit ermittelten Erfolgswahrscheinlichkeiten insgesamt geringer ausfallen, sowohl nach funktioneller als auch nach röntgenologisch ermittelter Erfolgsdefinition als in den meisten der zitierten Studien.

Zusammengefasst könnte sich diese Diskrepanz aus der Kombination der folgenden Faktoren ergeben:

- Durchmischung des Behandlerpools in der Universitätsmedizin (Studenten, Assistentenzahnärzte, angestellte Zahnärzte und spezialisierte Fachzahnärzte)
- Patientenklientel einer Universitätsmedizin
- Anatomie und Lokalisation des ersten Prämolaren im Gesamtgebiss (Frakturanfälligkeit nach Wurzelfüllung)

Das Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Wurzelkanalbehandlung (Lebensalter unter 40 Jahren) konnte in dieser Arbeit als statistisch hochsignifikanter Einflussfaktor auf die Erfolgswahrscheinlichkeit identifiziert werden.

Dagegen hatten die Einflussfaktoren Geschlecht des Patienten, und auch die zahnspezifischen Variablen Lokalisation nach Quadranten und nach Kiefern und auch der präendodontische Vitalitätsgrad keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenszeit bzw. -wahrscheinlichkeit.

Der präendodontische Beherdungsgrad konnte dagegen nach der röntgenologisch basierten Erfolgswahrscheinlichkeit als statistisch hochsignifikanter Einflussfaktor identifiziert

werden. Für die funktionelle Erfolgsdefinition ließ sich dagegen keine Signifikanz nachweisen.

Die Diskrepanz der Ergebnisse zum Einfluss des präendodontischen Beherdungsgrads zwischen der funktionellen und der röntgenologischen Erfolgsdefinition weist darauf hin, dass ein rein röntgenologisch ermitteltes Kriterium zu Beginn der Behandlung zwar für das Auftreten bzw. die Sichtbarkeit einer Beherdung im Rahmen einer postendodontischen Röntgenverlaufskontrolle durchaus eine Rolle spielt, aber langfristig offenbar keinen Einfluss auf das spätere Entstehen klinischer Auffälligkeiten oder notwendig Werden einer Extraktion im Beobachtungszeitraum hat.

Für den Einfluss der Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung konnte in dieser Arbeit für beide Erfolgsdefinitionen keine Signifikanz nachgewiesen werden.

Dagegen konnte in dieser Arbeit auch für erste Prämolare der statistisch hochsignifikante Einfluss der Art der postendodontischen koronalen Restauration, sogar für beide Erfolgswahrscheinlichkeiten, ermittelt werden. Die Versorgungen mittels Vollkronen und als Brückenpfeiler stellten für die Analyse nach beiden Erfolgswahrscheinlichkeiten eine deutlich bessere und damit zu bevorzugende Art der Versorgung dar als die Referenzversorgung mittels Kompositfüllung. Bei den Teilkronen konnte dies zusätzlich nur im Rahmen der funktionellen Erfolgsdefinition nachgewiesen werden.

Der signifikante Einfluss dieses Faktors ist auch das Ergebnis der zuvor zitierten Literatur [121, 131, 133, 171].

Zumindest für die Versorgung mit Vollkronen konnte für die funktionelle Erfolgsdefinition ein signifikanter Einfluss für den Versorgungszeitraum nachgewiesen werden.

Auch dies stimmt mit der zitierten Literatur überein [172].

Für den Einflussfaktor „Stiftversorgung“ konnte für das Überleben von ersten Prämolaren anhand der Ergebnisse dieser Arbeit für beide Erfolgsdefinitionen keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden.

Für den postendodontischen Beherdungsgrad ist anzumerken, dass nach funktioneller Erfolgsdefinition 67% der LEOs und 37% der LPOs klinisch nicht auffällig werden. Dies scheint vor allem auf Patienten mit einem Lebensalter unter 40 Jahren zuzutreffen. In weiteren Arbeiten sollten die Ursachen untersucht werden, wann und warum eine LEO oder eine LPO klinisch auffällig wird und somit der Zahn extrahiert werden muss. Dies lässt eine bessere röntgenologische Einschätzung der Befunde zu und ließe infolgedessen eine bessere Beratung des Patienten zu.

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wäre außerdem als weiterführende Fragestellung zu untersuchen, anhand welcher Kriterien der Patient sich bei einem betroffenen Zahn für einen definitiven Zahnersatz mittels Implantation anstelle einer zahnerhaltenden endodontischen Therapie entscheiden würde.

Diesbezüglich ergibt sich die neue Fragestellung, welche Überlebensdauer müsste sich ergeben, damit der Patient die gängige konservierende zahnerhaltende Therapie (unter Berücksichtigung der Faktoren „finanzieller Aufwand“, „repetitive Termine“, „Schmerzhaftigkeit“) immer noch vor einem definitiven Zahnersatz mittels Implantation vorziehen würde, obwohl die Langzeitüberlebensraten dieser Art des Zahnersatzes heutzutage teilweise mit Erfolgswahrscheinlichkeiten von mehr als 90% angegeben werden. [270-273]

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen an ersten Prämolaren, die in der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung der Universitätsmedizin in Mainz durchgeführt wurden, retrospektiv mit Hilfe röntgenologischer Auswertung zu bewerten.

Inkludiert wurden endodontische Behandlungen an ersten Prämolaren, die im Zeitraum von Januar 2008 bis Juli 2017 begonnen wurden (Trepanation). Der weitere, individuelle Beobachtungszeitraum (röntgenologisch und schriftlich) erstreckte sich maximal bis zum 29. Juli 2021, an dem alle Patienten zuletzt auf Wiedervorstelligkeit überprüft wurden.

Aus 1411 ersten Prämolaren von 972 Patienten, eigneten sich nach Prüfung auf Vollständigkeit der zu erhebenden Daten schließlich 398 erste Prämolare von 398 verschiedenen Patienten, deren Alter von 16 bis 95 Jahren zu Behandlungsbeginn betrug, zur Aufnahme in die Statistik. Diese 398 Zähne wurden röntgenologisch in Bezug auf ihren periapikalen Beherdungszustand zum Zeitpunkt des Beginns bzw. der Durchführung der Wurzelkanalbehandlung (Diagnoseaufnahme, endodontische Messaufnahme, Masterpointaufnahme oder Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung) und dem Beherdungszustand zum Zeitpunkt der letzten röntgenologischen Verlaufskontrolle nachkontrolliert. Darüber hinaus wurden schriftlich dokumentierte Behandlungsparameter aus der EDV der Universitätsmedizin erhoben: Patientenspezifische Daten wie Geschlecht und Alter, aber auch zahnspezifische Daten wie die Lokalisation im Kiefer, die Zugehörigkeit zu einem Quadranten, der präendodontische Vitalitäts- und Perkussionszustand zum Zeitpunkt des Behandlungsbeginns, wie auch die individuelle Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung wurden erfasst. Des Weiteren wurde die postendodontische Restauration und der Zeitpunkt des Einsetzens beziehungsweise die resultierende Zeitspanne zwischen Wurzelfüllung und Einsetzen der Restauration erfasst. Wenn innerhalb des Beobachtungszeitraums ein Zahn zur Extraktion erklärt wurde bzw. eine Extraktion stattgefunden hatte, wurde diese mit Datum erhoben und wenn möglich die schriftlich dokumentierte Begründung der Extraktion festgehalten. In diesen Fällen wurde auch erhoben, durch welche Restauraionsart der betreffende Prämolare nach der Extraktion ersetzt wurde. Alle Daten – schriftlicher und röntgenologischer Art - wurden für jeden ersten Prämolaren anonymisiert in einer speziell hierfür angefertigten Excel-Tabelle gesammelt.

Die Geschlechterverteilung der in die Studie eingegangenen Patienten verhielt sich ausgewogen: Es waren 49,75% männliche und 50,25% weibliche Patienten. Die

Altersgruppen der über 60-Jährigen und der 40- bis 60-Jährigen machten mit insgesamt 80,15% den größten Anteil der in die Studie eingeschlossenen Patienten aus.

Die beobachteten ersten Prämolare verteilten sich über alle vier Quadranten. Insgesamt gingen etwas mehr Prämolare des Ober- als des Unterkiefers in die Studie ein (56,03% zu 43,97%). Der Großteil der Prämolaren war zu Behandlungsbeginn klinisch vital, aber perkussionsempfindlich. Das Verhältnis zwischen apikal beherdeten und beherdungsfreien ersten Prämolaren bei Behandlungsbeginn war ausgewogen: 51,76% wiesen eine Beherdung auf, während 48,24% beherdungsfrei waren. Die Einschätzung, ob ein Zahn zu Beginn der Behandlung bereits beherdet war und welche Stufe der Beherdung erreicht war, wurde in Anlehnung an den periapikalen Index nach Ørstavik et al. 1986 [117] von einem kalibrierten Beobachter kategorisiert.

Insgesamt unterscheidet diese Arbeit den röntgenologisch belegbaren und den funktionellen Erfolg bzw. Misserfolg: Während 39,95% der Zähne laut röntgenologischer Bewertung retrospektiver infolge ihrer bestehen gebliebenen, neu aufgetretenen oder in der Größe weiter zugenommenen Beherdung als Misserfolg deklariert werden mussten (60,05% Erfolg), wurden nur 25,88% innerhalb des Beobachtungszeitraums tatsächlich extrahiert oder zumindest zur Extraktion erklärt - was für den Patienten einen echten klinischen und funktionellen Misserfolg bedeutet. 74,12% blieben dagegen im Beobachtungszeitraum erhalten. Die Ursachen für die stattgefundenen Extraktion stellte in fast der Hälfte der Fälle eine „Fraktur“ dar (Horizontale- und Längsfrakturen), gefolgt von „persistierenden apikalen Beherdungen“, „parodontaler Schädigung“ und „Karies auf Knochenniveau“ in absteigender Reihenfolge. Für den Einflussfaktor „Geschlecht des Patienten“ konnte auf den funktionellen Erfolg des Patienten – also die Beobachtung, ob ein Zahn im Beobachtungszeitraum extrahiert werden musste oder nicht – kein statistisch signifikanter Einfluss nachgewiesen werden ($p = 0,912$). Dagegen stellte das Alter des Patienten, zumindest für die funktionelle Erfolgsdefinition, einen statistisch signifikanten Einflussfaktor dar ($p = 0,008$). Für die Lokalisation im Ober- bzw. Unterkiefer ($p = 0,207$) ebenso wie für die Lokalisation in einem bestimmten Quadranten ($p = 0,367$) konnte sowohl für den funktionellen Erfolg des Patienten als auch den röntgenologisch basierten Erfolg keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden. Auch für den Einfluss des präendodontischen Vitalitätsgrads und der Zeitspanne zwischen Trepanation und Wurzelfüllung konnte in dieser Arbeit für beide Erfolgsdefinitionen keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden.

Der präendodontische Beherdungsgrad konnte in dieser Arbeit als statistisch signifikanter Einflussfaktor auf Basis der röntgenologischen Erfolgsdefinition für erste Prämolare identifiziert werden. Für die Art der postendodontischen koronalen Versorgung konnte für beide Erfolgsdefinitionen in dieser Arbeit sogar ein hochsignifikanter Einfluss nachgewiesen werden ($p = 0,001$). Auch die Zeitspanne für die Insertion dieser Restauration konnte für Vollkronen und Kompositfüllungen als signifikanter Einflussfaktor für die Erfolgsrate erster Prämolare herausgearbeitet werden.

Der Einflussfaktor „Stiftversorgung“ war für das Überleben erster Prämolare anhand der Ergebnisse dieser Arbeit für beide Erfolgsdefinitionen nicht signifikant.

Die Analyse des Einflusses des postendodontischen Beherdungsgrads nach funktioneller Erfolgsdefinition zeigt, dass erste Prämolare mit postendodontisch beherdungsfreiem Verlauf die beste Überlebenschance zeigen. Läsionen endodontischen Ursprungs (LEO) haben deutlich bessere Erfolgsaussichten als Läsionen parodontalen Ursprungs (LPO). Im Fall einer Paro-Endo-Läsion konnte kein einziges Erfolgsszenario beobachtet werden. Der Einfluss des postendodontischen Beherdungsgrads auf Basis der funktionellen Erfolgsdefinition war damit ebenfalls hochsignifikant ($p = 0.0009$).

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBV), K.d.ö.R., *Jahrbuch 2022, statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung, KZBV 2022*, Köln: Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBV), Körperschaft des öffentlichen Rechts. 195.
2. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, K.d.ö.R., Bundeszahnärztekammer – Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zahnärztekammern e. V. (BZÄK), *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V) – Kurzfassung*. Vol. 1.Auflage. 2016, Berlin/Köln Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, Körperschaft des öffentlichen Rechts, Bundeszahnärztekammer – Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zahnärztekammern e. V. (BZÄK). 48.
3. Kassebaum, N.J., et al., *Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression*. 2015(1544-0591 (Electronic)).
4. Frencken, J.E., et al., *Global epidemiology of dental caries and severe periodontitis - a comprehensive review*. 2017(1600-051X (Electronic)).
5. Friedman, S. and C. Mor, *The success of endodontic therapy--healing and functionality*. J Calif Dent Assoc, 2004. **32**(6): p. 493-503.
6. Krug, R., S. Soliman, and G. Krastl, *Die Prognose wurzelkanalbehandelter Zähne*. ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt, 2018. **127**(11): p. 549-555.
7. Ye, J. and Y. Gao, *Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue*. J Endod, 2012. **38**(1): p. 105-7.
8. Bürklein, S., S. Benten, and E. Schäfer, *Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth*. Int Endod J, 2013. **46**(6): p. 590-7.
9. Gopikrishna, V., et al., *Irrigation protocol among endodontic faculty and post-graduate students in dental colleges of India: A survey*. J Conserv Dent, 2013. **16**(5): p. 394-8.
10. Guo, X., et al., *Efficacy of four different irrigation techniques combined with 60 °C 3% sodium hypochlorite and 17% EDTA in smear layer removal*. BMC Oral Health, 2014. **14**: p. 114.
11. Silva, E., et al., *The effect of ozone therapy in root canal disinfection: a systematic review*. Int Endod J, 2020. **53**(3): p. 317-332.
12. Lee, S.J., M.K. Wu, and P.R. Wesselink, *The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls*. Int Endod J, 2004. **37**(10): p. 672-8.
13. Urban, K., et al., *Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation*. Clin Oral Investig, 2017. **21**(9): p. 2681-2687.
14. Stuart, C.H., et al., *Enterococcus faecalis: its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment*. J Endod, 2006. **32**(2): p. 93-8.
15. Xu, J., et al., *Influence of Endodontic Procedure on the Adherence of Enterococcus faecalis*. J Endod, 2019. **45**(7): p. 943-949.
16. Zafar, K., S. Jamal, and R. Ghafoor, *Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review*. J Pak Med Assoc, 2020. **70**(3): p. 497-504.
17. Zhekov, K.I. and V.P. Stefanova, *Retreatability of Bioceramic Endodontic Sealers: a Review*. Folia Med (Plovdiv), 2020. **62**(2): p. 258-264.

18. Crozeta, B.M., et al., *Retreatability of BC Sealer and AH Plus root canal sealers using new supplementary instrumentation protocol during non-surgical endodontic retreatment*. Clin Oral Investig, 2021. **25**(3): p. 891-899.
19. Speich, B., *Retrospektive Studie zu Themen der Endodontie und der definitiven Versorgung an 728 endodontisch behandelten Zähnen [Dissertation]*. 2003, Mainz: Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
20. Deutschland, B.d.J.d.B., *Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V) - Gesetzliche Krankenversicherung - (Artikel 1 des Gesetzes v. 20. Dezember 1988, BGBl. I S. 2477) § 12 Wirtschaftlichkeitsgebot*. 1988.
21. Kettner, R. and M. Schneider, *Chirurgische Zahnerhaltung und Endodontie im Wandel der Zeit*. Der MKG-Chirurg, 2020. **13**(2): p. 81-83.
22. Torabinejad, M., et al., *Outcomes of root canal treatment and restoration, implant-supported single crowns, fixed partial dentures, and extraction without replacement: A systematic review*. The Journal of Prosthetic Dentistry, 2007. **98**(4): p. 285-311.
23. Ruskin, J.D., et al., *Failed Root Canals: The Case for Extraction and Immediate Implant Placement*. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2005. **63**(6): p. 829-831.
24. Jäger, P.D.C.R.G.-H. *Endodontie 2018 - Was geht, was bleibt, was kommt? 2018 2023* [cited 2023 14.01.23]; Available from: https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/endodontie/story/endodontie-2018---was-geht-was-bleibt-was-kommt_6874.html.
25. Endodontology, E.S.o., *Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology*. Int Endod J, 2006. **39**(12): p. 921-30.
26. Chong, B.S., *Management endodontischer Misserfolge*. 2007, Berlin u.a.: Quintessenz Verlag.
27. Mayer, T., *Kompromisse und Grenzen in der Endodontologie*, in *Spitta-Fachbuchreihe Zahnmedizin*. 2005: Balingen.
28. Helbig, I.C., F.; Kärger, W.; Göbbels, M.; Gäbler, S.; Schulze, M.; Arnold, M., *Ermittlung des Schwierigkeitsgrades einer Wurzelkanalbehandlung* zm, 2021. **Ausgabe 17**: p. 44-55.
29. Hülsmann, M., *Endodontie : 20 Tabellen*, in *Checklisten der Zahnmedizin*. 2008: Stuttgart u.a.
30. DocCheck Community GmbH, D.F.A., Inga Haas, , *DocCheck Flexikon, Apikale Parodontitis [Internet]*. Letzte Aktualisierung: 14.04.2023. Zitiert am: 24.08.2023. 2023.
31. Hammann, T., *Epidemiologische Untersuchung von Wurzelkanalbehandlungen und apikalen Parodontitiden im Jahre 2010 [Dissertation]*. 2016, München Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München.
32. DocCheck Community GmbH, D.F.A., Fiona Walter, Dr. No, Emrah Hircink, *DocCheck Flexikon, Pulpitis [Internet]*. Letzte Aktualisierung: 09.04.2023. Zitiert am 24.08.2023. 2023.
33. Edelhoff, D.A.H., D. (Frankfurt); and M.K.W. Kern, P. (Frankfurt)) *Aufbau endodontisch behandelter Zähne - Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ* Wissenschaftliche Stellungnahme, Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde, 2003.
34. Tibúrcio-Machado, C.S., et al., *The global prevalence of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis*. 2020(1365-2591 (Electronic)).

35. Jiménez-Pinzón, A., et al., *Prevalence of apical periodontitis and frequency of root-filled teeth in an adult Spanish population*. 2004(0143-2885 (Print)).
36. López-López, J., et al., *Frequency and distribution of root-filled teeth and apical periodontitis in an adult population of Barcelona, Spain*. 2012(0020-6539 (Print)).
37. López-López, J., et al., *Frequency and distribution of root-filled teeth and apical periodontitis in an adult population of Barcelona, Spain*. International Dental Journal, 2012. **62**(1): p. 40-46.
38. Segura-Egea, J.J., J. Martín-González, and L. Castellanos-Cosano, *Endodontic medicine: connections between apical periodontitis and systemic diseases*. Int Endod J, 2015. **48**(10): p. 933-51.
39. Abbott, P.V., *Classification, diagnosis and clinical manifestations of apical periodontitis*. Endodontic Topics, 2004. **8**(1): p. 36-54.
40. Estrela, C., et al., *Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and Panoramic and Periapical Radiography for Detection of Apical Periodontitis*. Journal of Endodontics, 2008. **34**(3): p. 273-279.
41. Baumann, M.A., *Endodontologie : 24 Tabellen*, in *Farbatlant der Zahnmedizin*, R. Beer, Editor. 2008: Stuttgart u.a.
42. Siqueira, J.F., Jr., et al., *Causes and management of post-treatment apical periodontitis*. Br Dent J, 2014. **216**(6): p. 305-12.
43. Friedman, S., *Management of post-treatment endodontic disease: a current concept of case selection*. Aust Endod J, 2000. **26**(3): p. 104-9.
44. Kabak, Y. and P.V. Abbott, *Prevalence of apical periodontitis and the quality of endodontic treatment in an adult Belarusian population*. International Endodontic Journal, 2005. **38**(4): p. 238-245.
45. Stock, C., *Endodontie*, K.G. Richard Walker, Editor. 2005: München.
46. Rôças, I.N., M. Hülsmann, and J.F. Siqueira, Jr., *Microorganisms in root canal-treated teeth from a German population*. J Endod, 2008. **34**(8): p. 926-31.
47. Wu, M.K., P.M. Dummer, and P.R. Wesselink, *Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection*. Int Endod J, 2006. **39**(5): p. 343-56.
48. Sjögren, U., et al., *Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis*. Int Endod J, 1997. **30**(5): p. 297-306.
49. Nair, P.N., *On the causes of persistent apical periodontitis: a review*. Int Endod J, 2006. **39**(4): p. 249-81.
50. Molander, A., et al., *Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis*. Int Endod J, 1998. **31**(1): p. 1-7.
51. Siqueira, J.F., Jr. and I.N. Rôças, *Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures*. J Endod, 2008. **34**(11): p. 1291-1301.e3.
52. Mindere, A., et al., *Microflora of root filled teeth with apical periodontitis in Latvian patients*. Stomatologija, 2010. **12**(4): p. 116-21.
53. Adib, V., et al., *Cultivable microbial flora associated with persistent periapical disease and coronal leakage after root canal treatment: a preliminary study*. Int Endod J, 2004. **37**(8): p. 542-51.
54. Antunes, H.S., et al., *Total and Specific Bacterial Levels in the Apical Root Canal System of Teeth with Post-treatment Apical Periodontitis*. J Endod, 2015. **41**(7): p. 1037-42.

55. DocCheck Community GmbH, C.S., Dr. Frank Antwerpes, *DocChec Flexikon: Apikales Granulom [Internet]. Letzte Aktualisierung: 07.01.2023. Zitiert am: 24.08.2023. URL: https://flexikon.doccheck.com/de/Apikales_Granulom. 2023.*
56. Heidelberg, U. *Z014: Apikales Granulom*. 2017 5.03.2017 [cited 2022 29.12.2022]; Available from: <https://eliph.klinikum.uni-heidelberg.de/zahn/152/apikales-granulom>.
57. Düker, J., *10.1 Odontogene Zysten*, in *Röntgendiagnostik mit der Panoramaschichtaufnahme*. 2000, Georg Thieme Verlag KG: Stuttgart.
58. Heidelberg, U. *Z049: Radikuläre Zyste*. 2020 19.07.2020 [cited 2022 29.12.2022]; Available from: <https://eliph.klinikum.uni-heidelberg.de/zahn/185/radikulaere-zyste>.
59. DocCheck Community GmbH, D.F.A., *DocCheck-Flexikon: Radikuläre Zyste [Internet]. Letzte Aktualisierung: 26.12.2022. Zitiert am: 26.08.23. URL: https://flexikon.doccheck.com/de/Radikul%C3%A4re_Zyste. 2022.*
60. Peter Schulz, T.W., Wilfried Kleis, Knut A. Grötz. *Ausgedehnte Raumforderung durch eine radikuläre Zyste*. 2017 [cited 2022 29.12.2022]; Available from: <https://www.zm-online.de/archiv/2017/13/zahnmedizin/ausgedehnte-raumforderung-durch-eine-radikulaere-zyste>.
61. Courtade, G.L.T., John J., *Stiftverankerungen in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde*. 1979: Buch- und Zeitschriftenverlag "Die Quintessenz", Berlin
62. Klimm, W., *Endodontologie : Lehrbuch für Studium und Beruf*. 2011: Köln.
63. Wrbas, K.T., A.M. Kielbassa, and E. Hellwig, *Microscopic studies of accessory canals in primary molar furcations*. *ASDC J Dent Child*, 1997. **64**(2): p. 118-22.
64. Caliřkan, M.K., et al., *Root canal morphology of human permanent teeth in a Turkish population*. *J Endod*, 1995. **21**(4): p. 200-4.
65. Kuttler, Y., *Microscopic investigation of root apices*. 1955. *J Indiana Dent Assoc*, 2010. **89**(1): p. 20-8.
66. Burch, J.G. and S. Hulen, *The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1972. **34**(2): p. 262-8.
67. Green, D., *Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1960. **13**: p. 728-33.
68. Dummer, P.M., J.H. McGinn, and D.G. Rees, *The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen*. *Int Endod J*, 1984. **17**(4): p. 192-8.
69. Marroquín, B.B., M.A. El-Sayed, and B. Willershausen-Zönnchen, *Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars*. *J Endod*, 2004. **30**(5): p. 321-8.
70. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Morphometric observations on root canals of human premolars*. *J Endod*, 1977. **3**(2): p. 74-9.
71. Vertucci, F.J. and A. Gegauß, *Root canal morphology of the maxillary first premolar*. *J Am Dent Assoc*, 1979. **99**(2): p. 194-8.
72. Ida, R.D. and J.L. Gutmann, *Importance of anatomic variables in endodontic treatment outcomes: case report*. *Endod Dent Traumatol*, 1995. **11**(4): p. 199-203.
73. Vertucci, F.J., *Root canal anatomy of the human permanent teeth*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1984. **58**(5): p. 589-99.
74. Pécora, J.D., et al., *Root form and canal anatomy of maxillary first premolars*. *Braz Dent J*, 1992. **2**(2): p. 87-94.

75. Awawdeh, L., H. Abdullah, and A. Al-Qudah, *Root form and canal morphology of Jordanian maxillary first premolars*. J Endod, 2008. **34**(8): p. 956-61.
76. Ahmad, I.A. and M.A. Alenezi, *Root and Root Canal Morphology of Maxillary First Premolars: A Literature Review and Clinical Considerations*. J Endod, 2016. **42**(6): p. 861-72.
77. Bjorndal, A.M., et al., *Anatomic measurements of human teeth extracted from males between the ages of 17 and 21 years*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1974. **38**(5): p. 791-803.
78. Baisden, M.K., J.C. Kulild, and R.N. Weller, *Root canal configuration of the mandibular first premolar*. J Endod, 1992. **18**(10): p. 505-8.
79. Cleghorn, B.M., W.H. Christie, and C.C. Dong, *The root and root canal morphology of the human mandibular first premolar: a literature review*. J Endod, 2007. **33**(5): p. 509-16.
80. Ng, Y.L., et al., *Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors*. Int Endod J, 2008. **41**(1): p. 6-31.
81. Seltzer, S., et al., *Endodontic failures--an analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings. I*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1967. **23**(4): p. 500-16.
82. Baumann, L.R., S. R., *Clinical, roentgenologic, and histopathologic findings in teeth with apical radiolucent areas*. 1956(0030-4220 (Print)).
83. Linenberg WB; Waldron, C.A.D., G. F., Jr., *A CLINICAL, ROENTGENOGRAPHIC, AND HISTOPATHOLOGIC EVALUATION OF PERIAPICAL LESIONS*. 1964(0030-4220 (Print)).
84. Priebe, W.A., J.P. Lazansky, and A.H. Wuehrmann, *The value of the roentgenographic film in the differential diagnosis of periapical lesions*. 1954(0030-4220 (Print)).
85. Mortensen, H., J.E. Winther, and H. Birn, *Periapical granulomas and cysts. An investigation of 1,600 cases*. 1970(0029-845X (Print)).
86. Rosenberg, P.A., et al., *Evaluation of pathologists (histopathology) and radiologists (cone beam computed tomography) differentiating radicular cysts from granulomas*. 2010(1878-3554 (Electronic)).
87. Goldman, M., A.H. Pearson, and N. Darzenta, *Endodontic success--who's reading the radiograph?* Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1972. **33**(3): p. 432-7.
88. Reit, C. and L. Hollender, *Radiographic evaluation of endodontic therapy and the influence of observer variation*. Scand J Dent Res, 1983. **91**(3): p. 205-12.
89. Zakariasen, K.L., D.A. Scott, and J.R. Jensen, *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, 1984. **57**(3): p. 343-7.
90. Reit, C. and H.G. Gröndahl, *Application of statistical decision theory to radiographic diagnosis of endodontically treated teeth*. Scand J Dent Res, 1983. **91**(3): p. 213-8.
91. Eckerbom, M., J.E. Andersson, and T. Magnusson, *Interobserver variation in radiographic examination of endodontic variables*. Endod Dent Traumatol, 1986. **2**(6): p. 243-6.
92. Saunders, M.B., et al., *Reliability of radiographic observations recorded on a proforma measured using inter- and intra-observer variation: a preliminary study*. Int Endod J, 2000. **33**(3): p. 272-8.
93. Molven, O., A. Halse, and I. Fristad, *Long-term reliability and observer comparisons in the radiographic diagnosis of periapical disease*. Int Endod J, 2002. **35**(2): p. 142-7.

94. Halse, A., O. Molven, and I. Fristad, *Diagnosing periapical lesions--disagreement and borderline cases*. Int Endod J, 2002. **35**(8): p. 703-9.
95. McCaul, L.K., S. McHugh, and W.P. Saunders, *The influence of specialty training and experience on decision making in endodontic diagnosis and treatment planning*. Int Endod J, 2001. **34**(8): p. 594-606.
96. Goldman, M., A.H. Pearson, and N. Darzenta, *Reliability of radiographic interpretations*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1974. **38**(2): p. 287-93.
97. Rowe, A.H. and W.H. Binnie, *Correlation between radiological and histological inflammatory changes following root canal treatment*. J Br Endod Soc, 1974. **7**(2): p. 57-63.
98. Seltzer, S., *Long-term radiographic and histological observations of endodontically treated teeth*. J Endod, 1999. **25**(12): p. 818-22.
99. Barthel, C.R., S. Zimmer, and M. Trope, *Relationship of radiologic and histologic signs of inflammation in human root-filled teeth*. J Endod, 2004. **30**(2): p. 75-9.
100. Pasler, F.A., *Zahnärztliche Radiologie*. Vol. 7. unveränderte Auflage. 2021, Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
101. Ahlqwist, M., A. Halling, and L. Hollender, *Rotational panoramic radiography in epidemiological studies of dental health. Comparison between panoramic radiographs and intraoral full mouth surveys*. Swed Dent J, 1986. **10**(1-2): p. 73-84.
102. Ray, H.A. and M. Trope, *Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration*. Int Endod J, 1995. **28**(1): p. 12-8.
103. Chala, S., R. Abouqal, and F. Abdallaoui, *Prevalence of apical periodontitis and factors associated with the periradicular status*. Acta Odontol Scand, 2011. **69**(6): p. 355-9.
104. Nardi, C., et al., *Is Panoramic Radiography an Accurate Imaging Technique for the Detection of Endodontically Treated Asymptomatic Apical Periodontitis?* J Endod, 2018. **44**(10): p. 1500-1508.
105. Patel, S.W., R.; Dawood, A.; Mannocci, F., *The detection of periapical pathosis using digital periapical radiography and cone beam computed tomography - part 2: a 1-year post-treatment follow-up*. 2012.
106. Oba, T. and H. Katayama, *Comparison of orthopantomography with conventional periapical dental radiography*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1972. **34**(3): p. 524-30.
107. Kiefer, H., J.T. Lambrecht, and J. Roth, *[Dose exposure from analog and digital full mouth radiography and panoramic radiography]*. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 2004. **114**(7): p. 687-93.
108. Wangerin, K. and J.T. Lambrecht, *[Double visualization of the object in the panoramic radiography technic--loss of diagnostically assessable parts of the image]*. Dtsch Zahnärztl Z, 1984. **39**(12): p. 923-8.
109. Molander, B., et al., *Comparison of panoramic and intraoral radiography for the diagnosis of caries and periapical pathology*. Dentomaxillofac Radiol, 1993. **22**(1): p. 28-32.
110. Rohlin, M., et al., *Comparison between panoramic and periapical radiography in the diagnosis of periapical bone lesions*. Dentomaxillofac Radiol, 1989. **18**(4): p. 151-5.
111. Patel, S.W.R.D., A.; Mannocci, F., *The detection of periapical pathosis using periapical radiography and cone beam computed tomography - part 1: pre-operative status*. 2011(1365-2591 (Electronic)).

112. Karabucak, B., et al., *Prevalence of Apical Periodontitis in Endodontically Treated Premolars and Molars with Untreated Canal: A Cone-beam Computed Tomography Study*. 2016(1878-3554 (Electronic)).
113. Weissman, J., et al., *Association between the Presence of Apical Periodontitis and Clinical Symptoms in Endodontic Patients Using Cone-beam Computed Tomography and Periapical Radiographs*. 2015(1878-3554 (Electronic)).
114. Kruse, C.A.-O.X., et al., *Diagnostic accuracy of cone beam computed tomography used for assessment of apical periodontitis: an ex vivo histopathological study on human cadavers*. International Endodontic Journal, 2018(1365-2591 (Electronic)).
115. Wenzel, A., *Radiographic display of carious lesions and cavitation in approximal surfaces: Advantages and drawbacks of conventional and advanced modalities*. 2014(1502-3850 (Electronic)).
116. Kerekes, K. and L. Tronstad, *Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique*. J Endod, 1979. **5**(3): p. 83-90.
117. Ørstavik, D., K. Kerekes, and H.M. Eriksen, *The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis*. Endod Dent Traumatol, 1986. **2**(1): p. 20-34.
118. Brynolf, I., *A Histological and Roentgenological Study of the Periapical Region of Human Upper Incisors*. 1967: Almquist & Wiksell.
119. R. Weiger, T., W. Geurtsen, Hannover, D. Heidemann, Frankfurt,, T. C. Löst, A. Petschelt, Erlangen, W. Raab, Düsseldorf,, and M. E. Schäfer, R. Hicke,l München, *Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen, in Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ*. 2000, Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK).
120. Friedman, S. and C. Mor, *The success of endodontic therapy - healing and functionality*. J Calif Dent Assoc, 2004. **32**(6): p. 493-503.
121. Lazarski, M.P., et al., *Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients*. J Endod, 2001. **27**(12): p. 791-6.
122. Salehrabi, R. and I. Rotstein, *Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study*. J Endod, 2004. **30**(12): p. 846-50.
123. Lumley, P.J., P.S. Lucarotti, and F.J. Burke, *Ten-year outcome of root fillings in the General Dental Services in England and Wales*. Int Endod J, 2008. **41**(7): p. 577-85.
124. Stoll, R., K. Betke, and V. Stachniss, *The influence of different factors on the survival of root canal fillings: a 10-year retrospective study*. J Endod, 2005. **31**(11): p. 783-90.
125. Schmalbruch, A.C., *Behandlungsdauer von Wurzelkanalbehandlungen, Recallfrequenz sowie Verweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne: Eine retrospektive, statistische Studie [Dissertation]*. 2006, Gießen Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.
126. Dugas, N.N., et al., *Quality of life and satisfaction outcomes of endodontic treatment*. J Endod, 2002. **28**(12): p. 819-27.
127. Friedman, S., S. Abitbol, and H.P. Lawrence, *Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment*. J Endod, 2003. **29**(12): p. 787-93.
128. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health*. Int Endod J, 2011. **44**(7): p. 583-609.
129. Cheung, G.S. and T.K. Chan, *Long-term survival of primary root canal treatment carried out in a dental teaching hospital*. Int Endod J, 2003. **36**(2): p. 117-28.

130. Ørstavik, D., *Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man*. Int Endod J, 1996. **29**(3): p. 150-5.
131. Landys Borén, D., P. Jonasson, and T. Kvist, *Long-term survival of endodontically treated teeth at a public dental specialist clinic*. J Endod, 2015. **41**(2): p. 176-81.
132. Dammaschke, T., et al., *Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years*. J Endod, 2003. **29**(10): p. 638-43.
133. Imura, N., et al., *The outcome of endodontic treatment: a retrospective study of 2000 cases performed by a specialist*. J Endod, 2007. **33**(11): p. 1278-82.
134. Zehnder, M., S.I. Gold, and G. Hasselgren, *Pathologic interactions in pulpal and periodontal tissues*. J Clin Periodontol, 2002. **29**(8): p. 663-71.
135. Simon, J.H., D.H. Glick, and A.L. Frank, *The relationship of endodontic-periodontic lesions*. J Endod, 2013. **39**(5): p. e41-6.
136. Jahreis, M., et al., *Outcome of non-surgical root canal treatment related to periodontitis and chronic disease medication among adults in age group of 60 years or more*. Gerodontology, 2019. **36**(3): p. 267-275.
137. Zehnder, M., *Endodontic infection caused by localized aggressive periodontitis: a case report and bacteriologic evaluation*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2001. **92**(4): p. 440-5.
138. Silva, E., et al., *Current status on minimal access cavity preparations: a critical analysis and a proposal for a universal nomenclature*. Int Endod J, 2020. **53**(12): p. 1618-1635.
139. Shabbir, J., et al., *Access Cavity Preparations: Classification and Literature Review of Traditional and Minimally Invasive Endodontic Access Cavity Designs*. J Endod, 2021. **47**(8): p. 1229-1244.
140. Ahmad, I.A., *Rubber dam usage for endodontic treatment: a review*. Int Endod J, 2009. **42**(11): p. 963-72.
141. Lin, P.Y., et al., *The effect of rubber dam usage on the survival rate of teeth receiving initial root canal treatment: a nationwide population-based study*. J Endod, 2014. **40**(11): p. 1733-7.
142. Siqueira Junior, J.F., et al., *Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies*. Braz Oral Res, 2018. **32**(suppl 1): p. e65.
143. Tomson, P.L. and S.R. Simon, *Contemporary Cleaning and Shaping of the Root Canal System*. Prim Dent J, 2016. **5**(2): p. 46-53.
144. Brkanić, T., S. Zivković, and M. Drobac, *[Root canal preparation techniques using nickel-titanium rotary instruments]*. Med Pregl, 2005. **58**(3-4): p. 203-7.
145. Regan, J.D. and A.A. Fleury, *Irrigants in non-surgical endodontic treatment*. J Ir Dent Assoc, 2006. **52**(2): p. 84-92.
146. Haapasalo, M., et al., *Irrigation in endodontics*. Br Dent J, 2014. **216**(6): p. 299-303.
147. Senna, R.A., et al., *The effect of EDTA on the antibacterial activity of sodium hypochlorite*. Gen Dent, 2018. **66**(1): p. 74-78.
148. Tartari, T., et al., *Effects of heat in the properties of NaOCl alone and mixed with etidronate and alkaline tetrasodium EDTA*. Int Endod J, 2021. **54**(4): p. 616-627.
149. Nagendrababu, V., et al., *Effectiveness of ultrasonically activated irrigation on root canal disinfection: a systematic review of in vitro studies*. Clin Oral Investig, 2018. **22**(2): p. 655-670.
150. Paiva, S.S., et al., *Clinical antimicrobial efficacy of NiTi rotary instrumentation with NaOCl irrigation, final rinse with chlorhexidine and interappointment medication: a molecular study*. Int Endod J, 2013. **46**(3): p. 225-33.

151. Schilder, H., *Cleaning and shaping the root canal*. Dent Clin North Am, 1974. **18**(2): p. 269-96.
152. Song, M., et al., *Analysis of the cause of failure in nonsurgical endodontic treatment by microscopic inspection during endodontic microsurgery*. J Endod, 2011. **37**(11): p. 1516-9.
153. Kirkevang, L.L., et al., *Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in a Danish population*. Int Endod J, 2000. **33**(6): p. 509-15.
154. Frisk, F., A. Hugoson, and M. Hakeberg, *Technical quality of root fillings and periapical status in root filled teeth in Jönköping, Sweden*. 2008(1365-2591 (Electronic)).
155. Gillen, B.M., et al., *Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis*. J Endod, 2011. **37**(7): p. 895-902.
156. Hommez, G.M., C.R. Coppens, and R.J. De Moor, *Periapical health related to the quality of coronal restorations and root fillings*. Int Endod J, 2002. **35**(8): p. 680-9.
157. Özbaş, H., Y. Aşçı S Fau - Aydın, and Y. Aydın, *Examination of the prevalence of periapical lesions and technical quality of endodontic treatment in a Turkish subpopulation*. 2011(1528-395X (Electronic)).
158. Meirinhos, J., et al., *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, 2020. **53**(4): p. 573-584.
159. Schaeffer, M.A.W., R.; Walton, R. E., *Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature*. 2005(0099-2399 (Print)).
160. Ricucci, D. and K. Langeland, *Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study*. 1998(0143-2885 (Print)).
161. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival*. Int Endod J, 2011. **44**(7): p. 610-25.
162. Kojima, K., et al., *Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2004. **97**(1): p. 95-9.
163. Alley, B.S., et al., *A comparison of survival of teeth following endodontic treatment performed by general dentists or by specialists*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2004. **98**(1): p. 115-8.
164. de Sousa Gomide Guimarães, M.R.F., et al., *Evaluation of the relationship between obturation length and presence of apical periodontitis by CBCT: an observational cross-sectional study*. 2019(1436-3771 (Electronic)).
165. Spili, P., P. Parashos, and H.H. Messer, *The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment*. J Endod, 2005. **31**(12): p. 845-50.
166. Simon, S., et al., *Influence of fractured instruments on the success rate of endodontic treatment*. Dent Update, 2008. **35**(3): p. 172-4, 176, 178-9.
167. de Chevigny, C., et al., *Treatment outcome in endodontics: the Toronto study--phase 4: initial treatment*. J Endod, 2008. **34**(3): p. 258-63.
168. Siew, K., A.H. Lee, and G.S. Cheung, *Treatment Outcome of Repaired Root Perforation: A Systematic Review and Meta-analysis*. J Endod, 2015. **41**(11): p. 1795-804.
169. Estrela, C., et al., *Root perforations: a review of diagnosis, prognosis and materials*. Braz Oral Res, 2018. **32**(suppl 1): p. e73.

170. Alhadainy, H.A., *Root perforations. A review of literature.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1994. **78**(3): p. 368-74.
171. Aquilino, S.A. and D.J. Caplan, *Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth.* J Prosthet Dent, 2002. **87**(3): p. 256-63.
172. Stavropoulou, A.F. and P.T. Koidis, *A systematic review of single crowns on endodontically treated teeth.* J Dent, 2007. **35**(10): p. 761-7.
173. Lynch, C.D., et al., *The influence of coronal restoration type on the survival of endodontically treated teeth.* Eur J Prosthodont Restor Dent, 2004. **12**(4): p. 171-6.
174. Magura, M.E., et al., *Human saliva coronal microleakage in obturated root canals: an in vitro study.* J Endod, 1991. **17**(7): p. 324-31.
175. Saunders, W.P. and E.M. Saunders, *Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review.* Endod Dent Traumatol, 1994. **10**(3): p. 105-8.
176. Mindiola, M.J., et al., *Endodontic treatment in an American Indian population: a 10-year retrospective study.* J Endod, 2006. **32**(9): p. 828-32.
177. Willershausen, B., et al., *Survival rate of endodontically treated teeth in relation to conservative vs post insertion techniques -- a retrospective study.* Eur J Med Res, 2005. **10**(5): p. 204-8.
178. Tronstad, L., et al., *Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth.* Endod Dent Traumatol, 2000. **16**(5): p. 218-21.
179. Hommez, G.M., et al., *Investigation of the effect of the coronal restoration quality on the composition of the root canal microflora in teeth with apical periodontitis by means of T-RFLP analysis.* Int Endod J, 2004. **37**(12): p. 819-27.
180. Nagasiri, R. and S. Chitmongkolsuk, *Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: a retrospective cohort study.* J Prosthet Dent, 2005. **93**(2): p. 164-70.
181. Frankenberger, R., et al., *Stability of endodontically treated teeth with differently invasive restorations: Adhesive vs. non-adhesive cusp stabilization.* Dent Mater, 2015. **31**(11): p. 1312-20.
182. Hansen, E.K., *In vivo cusp fracture of endodontically treated premolars restored with MOD amalgam or MOD resin fillings.* Dent Mater, 1988. **4**(4): p. 169-73.
183. Hansen, E.K., E. Asmussen, and N.C. Christiansen, *In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam.* Endod Dent Traumatol, 1990. **6**(2): p. 49-55.
184. Dammaschke, T., et al., *Influence of coronal restorations on the fracture resistance of root canal-treated premolar and molar teeth: a retrospective study.* Aust Endod J, 2013. **39**(2): p. 48-56.
185. Costa, L.C., L.F. Pegoraro, and G. Bonfante, *Influence of different metal restorations bonded with resin on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars.* J Prosthet Dent, 1997. **77**(4): p. 365-9.
186. Hannig, C., et al., *Fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars restored with CAD/CAM ceramic inlays.* J Prosthet Dent, 2005. **94**(4): p. 342-9.
187. Panitvisai, P. and H.H. Messer, *Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures.* J Endod, 1995. **21**(2): p. 57-61.
188. Xie, K.X., et al., *Fracture resistance of root filled premolar teeth restored with direct composite resin with or without cusp coverage.* Int Endod J, 2012. **45**(6): p. 524-9.
189. Bitter, K., et al., *Influence of endodontic treatment, post insertion, and ceramic restoration on the fracture resistance of maxillary premolars.* Int Endod J, 2010. **43**(6): p. 469-77.

190. ElAyouti, A., et al., *Influence of cusp coverage on the fracture resistance of premolars with endodontic access cavities*. Int Endod J, 2011. **44**(6): p. 543-9.
191. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature*. Int Endod J, 2010. **43**(3): p. 171-89.
192. Salvi, G.E., et al., *Clinical evaluation of root filled teeth restored with or without post-and-core systems in a specialist practice setting*. Int Endod J, 2007. **40**(3): p. 209-15.
193. Wegner, P.K., S. Freitag, and M. Kern, *Survival rate of endodontically treated teeth with posts after prosthetic restoration*. J Endod, 2006. **32**(10): p. 928-31.
194. Schwartz, R.S. and J.W. Robbins, *Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review*. J Endod, 2004. **30**(5): p. 289-301.
195. Cagidiaco, M.C., et al., *Placement of fiber prefabricated or custom made posts affects the 3-year survival of endodontically treated premolars*. Am J Dent, 2008. **21**(3): p. 179-84.
196. Sorensen, J.A. and J.T. Martinoff, *Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth*. J Prosthet Dent, 1984. **51**(6): p. 780-4.
197. Dutta, A., F. Smith-Jack, and W.P. Saunders, *Prevalence of periradicular periodontitis in a Scottish subpopulation found on CBCT images*. Int Endod J, 2014. **47**(9): p. 854-63.
198. Sorensen, J.A. and J.T. Martinoff, *Clinically significant factors in dowel design*. J Prosthet Dent, 1984. **52**(1): p. 28-35.
199. Löst, C., *Die vertikale Wurzelfraktur – eine klinische Herausforderung und ein pathogenetisches Phänomen*. Zahnmedizin up2date, 2015. **9**(02): p. 109-127.
200. Deutsche Gesellschaft für Mund-, K.-u.G.D., Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK), *S2k-Leitlinie (Langfassung): Therapie des dentalen Traumas bleibender Zähne; AWMF-Registernummer: 083-004*. Vol. 2. 2022: AWMF online: Das Portal der wissenschaftlichen Medizin
201. Sedgley, C.M. and H.H. Messer, *Are endodontically treated teeth more brittle?* J Endod, 1992. **18**(7): p. 332-5.
202. Papa, J., C. Cain, and H.H. Messer, *Moisture content of vital vs endodontically treated teeth*. Endod Dent Traumatol, 1994. **10**(2): p. 91-3.
203. Huang, T.J., H. Schilder, and D. Nathanson, *Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin*. J Endod, 1992. **18**(5): p. 209-15.
204. Cheron, R.A., et al., *Nanomechanical properties of endodontically treated teeth*. J Endod, 2011. **37**(11): p. 1562-5.
205. Fernandes, A.S. and G.S. Dessai, *Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review*. Int J Prosthodont, 2001. **14**(4): p. 355-63.
206. Reeh, E.S., H.H. Messer, and W.H. Douglas, *Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures*. J Endod, 1989. **15**(11): p. 512-6.
207. Heydecke, G., F. Butz, and J.R. Strub, *Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study*. J Dent, 2001. **29**(6): p. 427-33.
208. Mangold, J.T. and M. Kern, *Influence of glass-fiber posts on the fracture resistance and failure pattern of endodontically treated premolars with varying substance loss: an in vitro study*. J Prosthet Dent, 2011. **105**(6): p. 387-93.
209. Pereira, J.R., et al., *Effect of a crown ferrule on the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with prefabricated posts*. J Prosthet Dent, 2006. **95**(1): p. 50-4.

210. Hemmings, K.W., P.A. King, and D.J. Setchell, *Resistance to torsional forces of various post and core designs*. J Prosthet Dent, 1991. **66**(3): p. 325-9.
211. Barkhordar, R.A., R. Radke, and J. Abbasi, *Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture*. J Prosthet Dent, 1989. **61**(6): p. 676-8.
212. Zhi-Yue, L. and Z. Yu-Xing, *Effects of post-core design and ferrule on fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors*. J Prosthet Dent, 2003. **89**(4): p. 368-73.
213. Sokol, D.J., *Effective use of current core and post concepts*. J Prosthet Dent, 1984. **52**(2): p. 231-4.
214. Torbjörner, A., S. Karlsson, and P.A. Odman, *Survival rate and failure characteristics for two post designs*. J Prosthet Dent, 1995. **73**(5): p. 439-44.
215. Qing, H., et al., *In vitro evaluation of the fracture resistance of anterior endodontically treated teeth restored with glass fiber and zircon posts*. J Prosthet Dent, 2007. **97**(2): p. 93-8.
216. Giovani, A.R., et al., *In vitro fracture resistance of glass-fiber and cast metal posts with different lengths*. J Prosthet Dent, 2009. **101**(3): p. 183-8.
217. Isidor, F., P. Odman, and K. Brøndum, *Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts*. Int J Prosthodont, 1996. **9**(2): p. 131-6.
218. Franco, E.B., et al., *Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with glass fiber posts of different lengths*. J Prosthet Dent, 2014. **111**(1): p. 30-4.
219. Samran, A., et al., *Influence of Post Length, Post Material, and Substance Loss on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth. A Laboratory Study*. Int J Prosthodont, 2021.
220. Veeraganta, S.K., et al., *Influence of post material, post diameter, and substance loss on the fracture resistance of endodontically treated teeth: A laboratory study*. J Prosthet Dent, 2020. **124**(6): p. 739.e1-739.e7.
221. Nissan, J., et al., *Resistance to fracture of crowned endodontically treated premolars restored with ceramic and metal post systems*. Quintessence Int, 2007. **38**(2): p. e120-3.
222. Pereira, J.R., et al., *The effect of post material on the characteristic strength of fatigued endodontically treated teeth*. J Prosthet Dent, 2014. **112**(5): p. 1225-30.
223. Torres-Sánchez, C., et al., *Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with glass fiber reinforced posts and cast gold post and cores cemented with three cements*. J Prosthet Dent, 2013. **110**(2): p. 127-33.
224. Duncan, J.P. and C.H. Pameijer, *Retention of parallel-sided titanium posts cemented with six luting agents: an in vitro study*. J Prosthet Dent, 1998. **80**(4): p. 423-8.
225. Başaran, E.G., E. Ayna, and M. Halifeoğlu, *Microleakage of endodontically treated teeth restored with 3 different adhesive systems and 4 different fiber-reinforced posts*. J Prosthet Dent, 2012. **107**(4): p. 239-51.
226. Nissan, J., et al., *Effect of reduced post length on the resistance to fracture of crowned, endodontically treated teeth*. Quintessence Int, 2008. **39**(8): p. e179-82.
227. Nergiz, I., et al., *Effect of length and diameter of tapered posts on the retention*. J Oral Rehabil, 2002. **29**(1): p. 28-34.
228. Standlee, J.P., et al., *The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel*. J Prosthet Dent, 1980. **44**(4): p. 398-404.
229. Standlee, J.P., A.A. Caputo, and E.C. Hanson, *Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design*. J Prosthet Dent, 1978. **39**(4): p. 400-5.

230. Pilo, R., E. Shapenco, and I. Lewinstein, *Residual dentin thickness in bifurcated maxillary first premolars after root canal and post space preparation with parallel-sided drills*. J Prosthet Dent, 2008. **99**(4): p. 267-73.
231. Caplan, D.J., et al., *Relationship between number of proximal contacts and survival of root canal treated teeth*. Int Endod J, 2002. **35**(2): p. 193-9.
232. Caplan, D.J. and J.A. Weintraub, *Factors related to loss of root canal filled teeth*. J Public Health Dent, 1997. **57**(1): p. 31-9.
233. Stassen, I.G.K., et al., *The relation between apical periodontitis and root-filled teeth in patients with periodontal treatment need*. 2006(0143-2885 (Print)).
234. Jansson, L., *Relationship between apical periodontitis and marginal bone loss at individual level from a general population*. 2015(0020-6539 (Print)).
235. Krentz, H., *Statistische Analysen mit SPSS in der Medizin : 2. Schließende statistische Analysen*. 2008: Aachen.
236. Abella, F., et al., *Evaluating the periapical status of teeth with irreversible pulpitis by using cone-beam computed tomography scanning and periapical radiographs*. J Endod, 2012. **38**(12): p. 1588-91.
237. Abella, F., et al., *An evaluation of the periapical status of teeth with necrotic pulps using periapical radiography and cone-beam computed tomography*. Int Endod J, 2014. **47**(4): p. 387-96.
238. Patel, S., et al., *New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems*. Int Endod J, 2009. **42**(6): p. 447-62.
239. Stavropoulos, A. and A. Wenzel, *Accuracy of cone beam dental CT, intraoral digital and conventional film radiography for the detection of periapical lesions. An ex vivo study in pig jaws*. Clin Oral Investig, 2007. **11**(1): p. 101-6.
240. Kullendorff, B., M. Nilsson, and M. Rohlin, *Diagnostic accuracy of direct digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions: overall comparison between conventional and direct digital radiography*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1996. **82**(3): p. 344-50.
241. Paurazas, S.B., et al., *Comparison of diagnostic accuracy of digital imaging by using CCD and CMOS-APS sensors with E-speed film in the detection of periapical bony lesions*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2000. **89**(3): p. 356-62.
242. Briseño Marroquin, B., et al., *[The reliability of apical x-ray pictures in the diagnosis of mandibular bone lesions. A review of the literature and in-vitro study]*. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 1995. **105**(9): p. 1142-8.
243. Sjogren, U., et al., *Factors affecting the long-term results of endodontic treatment*. J Endod, 1990. **16**(10): p. 498-504.
244. Benenati, F.W. and S.S. Khajotia, *A radiographic recall evaluation of 894 endodontic cases treated in a dental school setting*. J Endod, 2002. **28**(5): p. 391-5.
245. Weiger, R., D. Axmann-Krcmar, and C. Löst, *Prognosis of conventional root canal treatment reconsidered*. Endod Dent Traumatol, 1998. **14**(1): p. 1-9.
246. Tavares, P.B., et al., *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, 2009. **35**(6): p. 810-3.
247. Hülsmann, M., *Eine vergleichende Bewertung aktueller Studien zur Erfolgsquote endodontischer Behandlungen*. 2019.
248. Lewsey, J.D., M.S. Gilthorpe, and K. Gulabivala, *An introduction to meta-analysis within the framework of multilevel modelling using the probability of success of root canal treatment as an illustration*. Community Dent Health, 2001. **18**(3): p. 131-7.

249. Rädcl M, H.A., Bohm S, Walter M, *Barmer GEK Zahnreport 2014*. 2014, Asgard Verlagsserie GmbH, Berlin
250. Chen, S.C., et al., *An epidemiologic study of tooth retention after nonsurgical endodontic treatment in a large population in Taiwan*. J Endod, 2007. **33**(3): p. 226-9.
251. Schulte, A., *Die Erfolgsbewertung endodontischer Behandlungen an der Universitätsmedizin Rostock im Zeitraum von 2005 bis 2011 [Dissertation]*. 2021, Rostock: Universitätsmedizin Rostock – Medizinische Fakultät, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde - Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie.
252. Shakiba, B., et al., *Influence of increased patient age on longitudinal outcomes of root canal treatment: a systematic review*. Gerodontology, 2017. **34**(1): p. 101-109.
253. Parchami, S., *Der Einfluss verschiedener Parameter auf den klinischen Langzeiterfolg von Wurzelfüllungen am Zentrum für ZMK der Philipps-Universität Marburg als Beitrag zur internen Qualitätssicherung*, ed. R. Stoll. 2011: Philipps-Universität Marburg.
254. Hoskinson, S.E., et al., *A retrospective comparison of outcome of root canal treatment using two different protocols*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2002. **93**(6): p. 705-15.
255. Karaođlan, F., S. Miçoođulları Kurt, and M.K. Çalıřkan, *Outcome of single- versus two-visit root canal retreatment in teeth with periapical lesions: A randomized clinical trial*. Int Endod J, 2022. **55**(8): p. 833-843.
256. Schwendicke, F. and G. Göstemeyer, *Single-visit or multiple-visit root canal treatment: systematic review, meta-analysis and trial sequential analysis*. BMJ Open, 2017. **7**(2): p. e013115.
257. De-Deus, G. and A. Canabarro, *Strength of recommendation for single-visit root canal treatment: grading the body of the evidence using a patient-centred approach*. Int Endod J, 2017. **50**(3): p. 251-259.
258. Nykiel, K., *Der Einfluss der postendodontischen Restauration auf das Überleben posteriorer Zähne in situ - Eine retrospektive Studie über 10 Jahre - [Dissertation]*. 2010, Münster Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.
259. Pratt, I., et al., *Eight-Year Retrospective Study of the Critical Time Lapse between Root Canal Completion and Crown Placement: Its Influence on the Survival of Endodontically Treated Teeth*. 2016(1878-3554 (Electronic)).
260. Sequeira-Byron, P., et al., *Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root-filled teeth*. (1469-493X (Electronic)).
261. Linn, J. and H.H. Messer, *Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars*. 1994(0099-2399 (Print)).
262. Sorensen, J.A. and J.T. Martinoff, *Endodontically treated teeth as abutments*. 1985(0022-3913 (Print)).
263. Assif, D.B.A.P., R.; Oren, E., *Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns*. 1993(0022-3913 (Print)).
264. Nothdurft, F.P.S.E.G., F.; Naumann, M.; Motter, P. J.; Pospiech, P. R., *Influence of endodontic posts on the fracture behavior of crowned premolars with Class II cavities*. 2008(0300-5712 (Print)).
265. Furuya, Y., et al., *Fracture strength and stress distributions of pulpless premolars restored with fiber posts*. 2014(1881-1361 (Electronic)).

266. Thakur, A. and S. Ramarao, *A comparative evaluation of fracture resistance of endodontically treated premolar teeth reinforced with different prefabricated and custom-made fiber-reinforced post system with two different post lengths: An in vitro study*. 2019(0972-0707 (Print)).
267. Iaculli, F., et al., *Fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars restored with different type of posts and direct composite reconstructions: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies*. 2021(1879-0097 (Electronic)).
268. Vire, D.E., *Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation*. J Endod, 1991. **17**(7): p. 338-42.
269. Teeuwen, R., *Extraktion endodontisch behandelte Zähne - Ursachen und Gründe für Zahnverlust nach Wurzelkanalbehandlung*. Dental-praxis, 2004. **XXI**: p. 215-219.
270. Krebs, M., et al., *Long-term evaluation of ANKYLOS® dental implants, part i: 20-year life table analysis of a longitudinal study of more than 12,500 implants*. 2013(1708-8208 (Electronic)).
271. Tetsch, J., D.A. Tetsch P Fau - Lysek, and D.A. Lysek, *Long-term results after lateral and osteotome technique sinus floor elevation: a retrospective analysis of 2190 implants over a time period of 15 years*. 2010(1600-0501 (Electronic)).
272. Strietzel, F.P., et al., *Retrospective evaluation of the success of oral rehabilitation using the Frialit-2 implant system. Part 1: Influence of topographic and surgical parameters*. 2004(0893-2174 (Print)).
273. Buser, D., et al., *Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants*. 2002(0905-7161 (Print)).

8 Anhang

Die Basis der Abbildung 1 wurde mittels der AI „Midjourney“ (URL des Tools: www.midjourney.com) am 06.02.2024 mit „/imagine prompt: a tooth cross section on white background medically correct“ generiert. Anschließend wurde diese Basis in das Programm „Microsoft PowerPoint“ eingefügt und hiermit modifiziert, um mehr Details hinzuzufügen.

9 Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Frau Professor für die Vergabe des interessanten Themas bedanken, mit dem ich in meinem Berufsalltag mehrfach täglich in Berührung komme.

Für die statistische Beratung gilt mein besonderer Dank dem IMBEI Institut der Universitätsmedizin Mainz.

Meinem Ehemann und meiner Schwester, die mir als engstes Umfeld mit größter Unterstützung und Verständnis jeden Tag zur Seite stehen.

Meinem ehemaligen Chef, unter dessen Leitung ich mich in meiner Assistenzzeit zu der Zahnärztin entwickeln konnte, die ich heute bin.

10 Tabellarischer Lebenslauf