

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
Westdeutsche Kieferklinik  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. P. Gierthmühlen

Klinischer Langzeiterfolg von feststehendem Zahnersatz auf  
natürlichen Zähnen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf

vorgelegt von  
Jonas Güttler  
2023

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. dent. David Sonntag

## Zusammenfassung

Der klinische Langzeiterfolg von feststehendem Zahnersatz auf natürlichen Zähnen hängt mutmaßlich von den verwendeten Materialien und deren Verarbeitung ab. Jedoch zeigten Autoren jüngst, dass viele Studien nicht standardisierte Kriterien verwenden. Kronen und Brücken kommen dabei auf Grund der klinischen Relevanz und der häufigen Indikationsstellung große Bedeutung zu. Als Materialien stehen edelmetallhaltige (EM) oder edelmetallfreie (EMF) Legierungen oder dentale Keramiken zur Verfügung. Um zu klären, welches Material sich hinsichtlich des klinischen Langzeiterfolgs am besten bewährt, wurde eine klinisch retrospektive Studie mit  $n = 56$  Patientinnen und Patienten der Westdeutschen Kieferklinik und insgesamt  $n = 141$  Restaurationen durchgeführt. Untersucht wurden restaurationsbezogene und parodontale Parameter nach standardisierten Untersuchungsmethoden an versorgten Zähnen und unversorgten Vergleichszähnen. Die Restaurationen unterteilten sich in  $n = 93$  Kronen und  $n = 48$  Brücken auf  $n = 109$  Ankerkronen.  $N = 36$  Restaurationen waren aus einer EMF-,  $n = 69$  aus einer EM-Legierung und  $n = 36$  aus einer dentalen Keramik gefertigt und wiesen eine mediane Verweildauer von 8,02 Jahren auf.

Zur statistischen Auswertung wurden Regressionsanalysen, Chi-Quadrat-Tests, Kaplan-Meier-Analysen und Wilcoxon-Matched-Pairs-Tests angewendet. Alle berichteten Ergebnisse sind auf einem  $\alpha$ -Niveau von mindestens  $p \leq 0,05$  signifikant.

Die Auswertung der restaurationsbezogenen Parameter ergab einen signifikanten Einfluss sowohl des verwendeten Materials als auch des Versorgungstyps auf die Komplikationswahrscheinlichkeit. Für Brücken ergab sich ein 4,09-fach höheres Risiko für eine Komplikation als für Kronen. EMF-Arbeiten waren 2,69-fach häufiger von einer Komplikation betroffen als EM-Restaurationen und 6,21-fach häufiger als Keramikarbeiten. Es zeigte sich eine Erfolgswahrscheinlichkeit von 86,2 % für EM- und 85,9 % für Keramikrestaurationen nach 10 Jahren, während sie für EMF-Arbeiten lediglich bei 52,0 % lag.

Auch bei den parodontalen Parametern fanden sich signifikante Unterschiede. An Restaurationen fanden sich generell höhere Taschensondierungstiefen als an den Vergleichszähnen. Keramikronen wiesen geringere Rezessionen als EMF- und EM-Restaurationen auf. Die Lokalisation der Restaurationen im Oberkiefer und das Patientenalter erwiesen sich als negative Einflussfaktoren auf die Taschensondierungstiefe. Darüber hinaus waren die Sulkus-Blutungs-Indices als Entzündungsparameter durch eine große Brückenspannweite, das Vorliegen einer Überkonturierung und EMF-Arbeiten erhöht.

Die Studienergebnisse decken sich zum Teil mit der Literatur, wenngleich die Datenlage sehr different ist. In unserer Kohorte zeigen keramische und EM-Restaurationen die besten Ergebnisse hinsichtlich des Langzeiterfolgs. Parodontal-hygienische Aspekte sowie die korrekte Ausführung einer Restauration sind für den Langzeiterfolg ausschlaggebend und sollten bei der Planung und Eingliederung besonders berücksichtigt werden.

## Summary

The long-term clinical success of fixed prostheses on natural teeth presumably depends on the materials used and their processing. However, authors recently showed that many studies use non-standardized criteria. Crowns and bridges are of great importance due to their clinical relevance and frequent indication. Materials available are precious metal (EM) or non-precious metal (EMF) alloys or dental ceramics. To clarify which material is best in terms of long-term clinical success, a clinical retrospective study was conducted with  $n = 56$  patients from the Westdeutsche Kieferklinik and a total of  $n = 141$  restorations. Restoration-related and periodontal parameters were investigated according to standardized examination methods on restored teeth and compared to unrestored teeth. The restorations were divided into  $n = 93$  crowns and  $n = 48$  bridges on  $n = 109$  anchor crowns.  $N = 36$  restorations were made of an EMF alloy,  $n = 69$  of an EM alloy, and  $n = 36$  of a dental ceramic and had a median retention time of 8.02 years.

Regression analyses, chi-square tests, Kaplan-Meier analyses and Wilcoxon matched pairs tests were used for statistical analysis. All reported results were significant at an  $\alpha$ -level of at least  $p \leq 0.05$ .

Evaluation of the restoration-related parameters revealed a significant influence of both the material used and the restoration type on the probability of complications. Bridges were found to have a 4.09-fold higher risk of complication than crowns. Fixed EMF prostheses were 2.69 times more likely to experience a complication than EM restorations and 6.21 times more likely than fixed ceramic prostheses. It showed a probability of success of 86.2 % for EM and 85.9 % for ceramic restorations after 10 years, while it was only 52.0 % for EMF restorations.

Significant differences were also found in periodontal parameters. Higher pocket probing depths were generally more associated with teeth with restorations than with compared unrestored teeth. Ceramic crowns exhibited lower recession than EMF and EM restorations. The localization of restorations in the maxilla and patient age were found to negatively influence pocket probing depth. In addition, sulcus bleeding indices as inflammatory parameter were increased by a large bridge span, the presence of overcontouring, and EMF work.

The study results are partially consistent with the literature, although the data are very inhomogeneous. In our cohort, ceramic and EM restorations show the best results in terms of long-term success. Periodontal-hygienic aspects as well as the correct execution of a restoration are crucial for long-term success and should be paid special attention to treatment planning and placement of the restoration.

## Abkürzungsverzeichnis

%	<i>Prozent</i>
AAP	<i>American Association of Periodontology</i>
ADA	<i>American Dental Association</i>
AFR	<i>annual failure rate (dt. jährliche Komplikationsrate)</i>
ANOVA	<i>analysis of variance (dt. Varianzanalyse)</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BOP	<i>bleeding on probing (dt. Bluten auf Sondieren)</i>
CAD	<i>computer aided design (dt. rechnerunterstütztes Konstruieren)</i>
CAL	<i>clinical attachment level (dt. klinisches Attachmentlevel)</i>
CAM	<i>computer aided manufacturing (dt. rechnerunterstützte Fertigung)</i>
CDC	<i>Center for Disease Control and Prevention</i>
CI	<i>confidence interval (dt. Konfidenzintervall)</i>
CO <sub>2</sub>	<i>Kohlenstoffdioxid</i>
DMS	<i>Deutsche Mundgesundheitsstudie</i>
EFP	<i>European Federation of Periodontology</i>
EM	<i>edelmetallhaltig</i>
EMF	<i>edelmetallfrei</i>
EMFL	<i>Edelmetallfreie Legierung</i>
EML	<i>Edelmetallhaltige Legierung</i>
FDI	<i>Fédération Dentaire Internationale (dt. Weltverband der Zahnärzte)</i>
FZ	<i>Frontzahnbereich</i>
GPa	<i>Gigapascal</i>
H <sub>0</sub>	<i>Nullhypothese</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KZBV	<i>Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung</i>
KZV	<i>Kassenzahnärztliche Vereinigung</i>
MPa	<i>Megapascal</i>
n	<i>Anzahl</i>
NHS	<i>National Health Service</i>
OK	<i>Oberkiefer</i>
OR	<i>odds ratio</i>
R <sub>a</sub>	<i>Schwellen-Mittenrauwert</i>
RCT	<i>randomized controlled trial (dt. randomisierte kontrollierte Studie)</i>
SBI	<i>Sulkus-Blutungs-Index</i>
SZ	<i>Seitenzahnbereich</i>
TET	<i>total exposure time (dt. Gesamtexpositionszeit)</i>
TST	<i>Taschensondierungstiefe</i>
UK	<i>Unterkiefer</i>
USPHS	<i>United States Public Health Service</i>
WAK	<i>Wärmeausdehnungskoeffizient</i>
WHO	<i>World Health Organisation</i>

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Kronen- und Brückenprothetik .....	3
1.1.1	Kronen .....	3
1.1.2	Brücken .....	4
1.2	Werkstoffe .....	5
1.2.1	Metallische Werkstoffe .....	6
1.2.1.1	Edelmetallhaltige Legierungen .....	7
1.2.1.2	Edelmetallfreie Legierungen .....	9
1.2.2	Nichtmetallische Werkstoffe .....	10
1.2.2.1	Silikatkeramiken .....	11
1.2.2.2	Oxidkeramiken .....	12
1.2.2.3	Glasinfiltrierte Oxidkeramiken und Hybrid- und Verbundkeramiken .....	12
1.3	Präparationsdesign .....	13
1.4	Befestigungszemente .....	15
1.5	Erfolg und Überleben .....	16
1.6	Einflussfaktoren auf den Erfolg von Restaurationen .....	17
1.7	Komplikationen .....	17
1.8	Literaturergebnisse .....	18
1.8.1	Restaurationsbezogene Studienergebnisse .....	18
1.8.2	Parodontale Studienergebnisse .....	19
1.9	Problemstellung .....	21
2	Ziele der Arbeit .....	22
3	Material und Methoden .....	23
3.1	Ethikkommission .....	23
3.2	Studiendesign .....	23
3.3	Angaben zu Patientinnen und Patienten .....	24
3.4	Studienablauf und verwendete Materialien .....	25
3.4.1	Verfahren zur Patientenauswahl .....	25
3.4.2	Methoden zur Bestimmung zahnbezogener Parameter .....	25
3.4.3	Methoden zur Bestimmung restaurationsbezogener Parameter .....	27
3.5	Studienablauf .....	29
3.6	Datenauswertung .....	29
3.7	Statistische Auswertungsverfahren .....	30

3.7.1	Auswertung restaurationsbezogener Parameter .....	30
3.7.2	Auswertung parodontaler Parameter .....	32
4	Ergebnisse .....	33
4.1	Patientenflow .....	33
4.2	Charakteristika der Patientinnen und Patienten .....	35
4.3	Charakteristika der Restaurationen .....	37
4.3.1	Gerüstmaterialien .....	37
4.3.2	Verblendung .....	38
4.3.3	Region der Versorgungen .....	39
4.3.4	Befestigungsart .....	40
4.3.5	Restaurationsalter .....	41
4.4	Komplikationsereignisse .....	42
4.4.1	Komplikationen .....	43
4.4.2	Randschluss .....	46
4.4.3	Einflussfaktoren auf Komplikationen .....	48
4.5	Erfolgsanalyse .....	49
4.6	Analyse der USPHS-Kriterien .....	55
4.6.1	Randschluss .....	55
4.6.2	Anatomische Form .....	56
4.6.3	Sekundärkaries .....	56
4.7	Parodontale Situation .....	58
4.7.1	Vergleich Restaurationen vs. natürliche Zähne .....	58
4.7.1.1	Taschensondierungstiefen .....	58
4.7.1.2	Rezessionen .....	60
4.7.1.3	klinisches Attachmentlevel .....	61
4.7.2	Vergleich der Restaurationen untereinander .....	63
4.7.2.1	Taschensondierungstiefen .....	64
4.7.2.2	Rezessionen .....	65
4.7.2.3	klinisches Attachmentlevel .....	67
4.7.3	Einfluss weiterer Faktoren auf den parodontalen Zustand .....	69
4.7.4	Sulkus-Blutungs-Index .....	71
5	Diskussion und Schlussfolgerungen .....	74
5.1	Erfolgsanalyse und Komplikationsereignisse .....	74
5.1.1	Versorgungstyp .....	75
5.1.2	Restaurationsmaterial .....	76

5.1.3	Randspalt .....	77
5.1.4	Horizontale Diskrepanz der Randgestaltung.....	78
5.2	Analyse der USPHS-Kriterien.....	79
5.3	Parodontale Situation .....	81
5.3.1	Taschensondierungstiefen und klinisches Attachmentlevel .....	81
5.3.2	Rezessionen.....	83
5.3.3	gingivales Entzündungsniveau.....	84
5.4	Limitationen der Studie und Methodenkritik .....	88
6	Schlussfolgerung .....	92
7	Literaturverzeichnis.....	93
8	Anhang .....	107

## 1 Einleitung

Alle 4 Sekunden wird in Deutschland eine Krone eingegliedert, alle 13 Sekunden eine Brücke. Diese Zahlen ergeben sich, wenn man die Abrechnungsstatistik für gesetzliche Krankenkassen der kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV) für das Jahr 2019 zu Grunde legt (Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, 2020). Insgesamt wurden 7,65 Millionen Einzelkronen und 2,36 Millionen Brücken angefertigt. Diese Zahlen lassen sich vor allem dadurch erklären, dass Kronen die Standardtherapie zur Versorgung einer stark geschädigten Zahnkrone und Brücken zum Ersatz einzelner Zähne in zahnbegrenzten Lücken darstellen. Da Kronen und Brücken dauerhaft und feststehend mit den Zähnen verankert sind, werden sie oft unter dem Begriff „feststehender Zahnersatz auf natürlichen Zähnen“ zusammengefasst.

Folglich verursacht die Versorgung mit Kronen und Brücken ein großes Kostenvolumen. So wurden 2019 von deutschen Zahnarztpraxen prothetische Leistungen inklusive Material- und Laborkosten mit einem Gesamtvolumen von 3,071 Milliarden Euro über die kassenzahnärztlichen Vereinigungen (KZV) abgerechnet. Das entsprach 21,5 % aller zahnmedizinischen Kosten. Einzelkronen machten demnach mit 50,6 % und Brücken mit 12,0 % zusammen als feststehender Zahnersatz auf natürlichen Zähnen den größten Anteil der prothetischen Kosten aus (Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, 2020). Die prothetische Versorgung von natürlichen Zähnen mit Kronen und Brücken ist somit ein wichtiges wie umsatzstarkes Gebiet der Zahnmedizin in Deutschland.

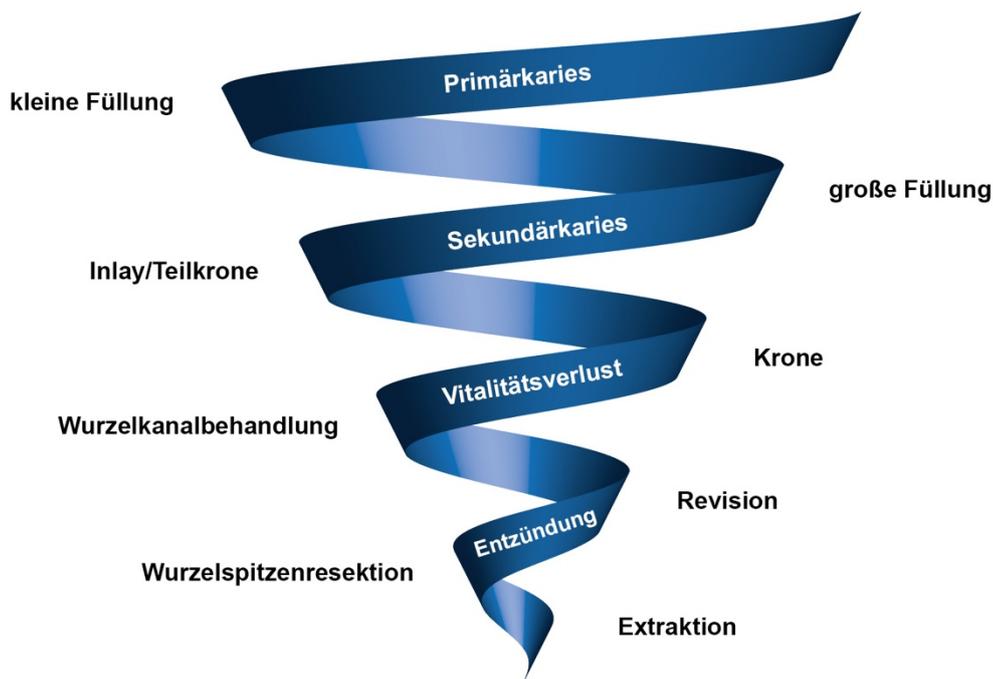
Der Blick in die Abrechnungsstatistik zeigt auch, dass die Bedeutung von Kronen und Brücken in den letzten Jahren weiter zugenommen hat. Die relativen Häufigkeiten von Zahnersatz-Versorgungsformen wie Einzelkronen, Brückenversorgungen und Teleskopen wuchsen deutlich stärker als die von Modellguss- und Totalprothesen. So stieg etwa die relative Häufigkeit von Einzelkronen von 42,6 % im Jahr 2006 auf 50,6 % im Jahr 2019, während sie für Totalprothesen im gleichen Zeitraum lediglich von 6,7 % auf 7,0 % stieg. Die Autoren des statistischen Jahrbuches konstatieren, dass es einen anhaltenden Trend hin zu feststehenden Versorgungsformen gebe (Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, 2020).

Dieser Trend lässt sich im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückführen: eine deutliche Verbesserung der Mundgesundheit und ein Umdenken in den zahnärztlichen Behandlungskonzepten.

So geht zum einen aus der 2016 veröffentlichten 5. Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) unter anderem hervor, dass sich die Mundgesundheit vor allem der älteren Menschen stetig verbessert. Die völlige Zahnlosigkeit nimmt immer weiter ab, die eigenen Zähne bleiben immer länger erhalten. Die Tendenz geht infolgedessen zu feststehendem Zahnersatz. Verstärkt wird der Effekt durch den demographischen Wandel hin zu einer Zunahme der älteren Bevölkerungsgruppen (Jordan et al., 2016). Diese Entwicklung lässt sich international in Industrieländern ebenfalls verfolgen (Dye et al., 2007; Frencken et al., 2017; Marthaler, 2004; Reich, 2001; Slade et al., 2014).

Zum anderen entwickelt sich in den letzten Jahren ein Umdenken in den zahnärztlichen Behandlungskonzepten (Fejerskov et al., 2013; Leben, 1995). Galt für viele Jahre das ausgeprägt invasive, sogenannte „drill-fill-bill“-Prinzip, so wählt man heute häufig einen konservativeren, beobachtenden Ansatz in der Kariestherapie. Ausgehend von dem Gedanken, dass eine nicht-kavitierte aktive Karies in einen arretierten Zustand überführt werden kann, wird der Zeitpunkt bis zur invasiven Füllungstherapie längst möglich hinausgezögert (Borges et al., 2011; Burt et al., 2015; Carounanidy et al., 2009; Carounanidy et al., 2010; Kidd et al., 2015).

Vor dem Hintergrund, dass auch jede Form einer möglichen Restauration - sei es eine Fissurenversiegelung, eine Füllung, ein *Inlay*, oder eine Krone - nur eine begrenzte Erfolgs- bzw. Überlebensdauer aufweist, wurde darüber hinaus das Modell der „Todesspirale“ eines Zahnes entwickelt (Abb. 1). Hat etwa die Überlebensdauer einer initialen kleinen Füllung ihr Ende erreicht und es kommt zum Verlust der Füllung oder gar zum Auftreten einer Sekundärkaries, so wird die Füllung gegen eine größere ausgetauscht. Dieser Zyklus wiederholt sich, bis der Defekt eine Größe erreicht hat, bei der nur noch eine Versorgung mit einer Krone möglich ist.



**Abb. 1: Die "Todesspirale" bzw. der Restorationszyklus eines Zahnes, modifiziert nach Qvist 2015**

Die Überlebensdauer eines Zahnes hängt somit vor allem vom Erfolg und der Überlebensdauer seiner Versorgung ab. Folglich ist das Ziel, den Übergang zur nächst-invasiveren Versorgungsform so lange wie möglich hinauszuzögern. Die Dauer der „Todesspirale“ wird auf ein Maximum gedehnt, damit es im besten Fall gar nicht zur Extraktion eines Zahnes und somit zum Zahnverlust kommt (Qvist, 2015). Auch die Kosten-Nutzen-Relation sowohl für Patientinnen und Patienten als auch aus Sicht der Krankenkasse lässt sich so verbessern.

Der Versorgungsform der Krone als letzter Form des festsitzenden Zahnersatzes auf einem natürlichen Zahn bzw. als Anker für ein Brückenglied kommt

demzufolge eine wesentliche Bedeutung in der Zahnerhaltung und Versorgung eines geschädigten Zahnes zu.

## **1.1 Kronen- und Brückenprothetik**

Ein stark geschädigter oder gar fehlender Zahn stellt die Zahnmedizin schon seit Jahrtausenden vor Herausforderungen. Erste Rekonstruktionen mit Hilfe von Golddrähten und artifiziellen Zähnen sind etwa bereits aus dem Zeitalter der Etrusker bekannt (Becker, 1999). Renk erwähnt in der 2005 erschienen Enzyklopädie der Medizingeschichte, dass 450 vor Christus in Rom ein Gesetz erlassen worden sei, dass Leichnamen kein Gold beigegeben werden solle, es aber erlaubt sei, Zahnersatz, der ebenfalls mit Hilfe von Golddrähten oder Goldbändern an den natürlichen Zähnen befestigt war, im Leichnam zu belassen. Folglich war die Herstellung von Zahnersatz auch im römischen Staat bekannt (Renk, 2005). Erste Ausgrabungsergebnisse untermauern diese Beobachtung (Minozzi et al., 2007). Neuere Funde aus dem Zeitalter der späten Renaissance belegen eine technologische Weiterentwicklung. Im Skelett einer italienischen Adligen, dem sogenannten Guinigi-Grab, wurde eine Unterkieferbrücke gefunden, bei der fünf Zähne mittels eines in die Zähne eingearbeiteten Goldbandes und feinen Gold-Pins verbunden wurden. Zahnsteinablagerungen belegen, dass diese Form des Zahnersatzes für einen längeren Zeitraum in Funktion gewesen sein muss (Minozzi et al., 2017).

Künstlichen Kronen auf natürlichen Zähnen und an natürlichen Zähnen befestigten künstlichen Zähnen als Brücken kommen somit seit jeher eine wesentliche Bedeutung in der Versorgung und dem Ersatz eines geschädigten Zahnes zu. Sie stellen seit Jahrhunderten die etablierte Standardtherapie bei ausgeprägtem Substanzdefekt der Zahnkrone dar (Strub, 2011).

### **1.1.1 Kronen**

Von einer Krone spricht man, wenn die gesamte natürliche Zahnkrone durch einen festsitzenden Zahnersatz rekonstruiert wird. Periphere Zahndefekte mit Schmelzwänden mit fehlender Dentinunterstützung, ausschließlich relative Trockenlegung, ein schlechter Zugang zum Operationsgebiet, vorwiegend Dentin als Verankerungsfläche oder ausgeprägte funktionelle Befunde sind Parameter, die für die Anfertigung einer Krone sprechen (Luthardt et al., 2008).

Nach einer Vorbehandlungsphase, die vor allem die parodontale und konservierende Versorgung umfasst, wird der Zahn für die Aufnahme einer künstlichen Zahnkrone zirkulär beschliffen. Das Ziel ist hierbei, genügend Platz zu schaffen, damit der Werkstoff der künstlichen Krone ausreichend stabil dimensioniert werden kann. Die so geschaffene Situation wird anschließend auf konventionellem Wege mittels einer Abformung oder digital mit einem Intraoralscanner erfasst. Auf dieser Grundlage kann nun entweder im Labor oder *chairside* eine künstliche Krone hergestellt werden, deren Form sich an der natürlichen Zahnanatomie orientiert. Die fertige Krone wird im letzten Schritt im Patientenmund angepasst und dann auf dem Zahnstumpf konventionell oder adhäsiv befestigt.

### 1.1.2 Brücken

Kommt es in einer geschlossenen Zahnreihe zum Verlust einzelner Zähne, so kann der Lückenschluss häufig mit der Restaurationsart der Brücke erreicht werden. Eine Brücke ist eine festsitzende Zahnersatzform, bei der der Zahnersatz durch ein oder mehrere Brückenzwischenglieder erreicht wird. Die Anzahl der Brückenzwischenglieder gibt dabei die Spanne vor. Brücken mit einem Brückenzwischenglied werden als einspannige Brücken bezeichnet, Brücken mit mehreren Zwischengliedern zwischen mehreren Pfeilern nennt man mehrspannig.

Das Brückenzwischenglied wird durch Anker auf Zähnen oder Implantaten abgestützt, die an die Lücke grenzen und kann damit dental, implantär oder dental-implantär getragen sein. Somit besteht eine Brücke aus Brückenankern und Brückenzwischengliedern. Endpfeilerbrücken werden zu beiden Seiten von Pfeilerelementen begrenzt, Freiland- bzw. Extensionsbrücken nur einseitig. Trotz der nachteiligen exzentrischen Belastung haben Extensionsbrücken ihre Berechtigung in der Versorgung von verkürzten Zahnreihen und bei kariesfreiem Nachbarzahn in einer Schaltlücke (Strub, 2011).

Der Brückenanker kann als Vollkrone, Teilkkrone, *Inlay* oder zu verklebende Auflage (Klebebrücke) gestaltet sein. Die Brückenkonstruktion ist über die Brückenanker mit den Brückenpfeilerzähnen fest verbunden, die dadurch die Kaulast des ersetzten Zahnes mittragen. Um eine Überbelastung der Brückenpfeiler zu vermeiden und eine statisch günstige Verteilung zu erreichen, legte Ante 1926 in der später nach ihm benannten Ante'schen Regel als Orientierung zur Ausdehnung einer Brücke fest, dass die Oberfläche des Desmodonts der Pfeilerzähne mindestens genau so groß sein sollte wie die der zu ersetzenden Zähne (Ante, 1926). Dieses Prinzip galt für Jahrzehnte als oberste Regel bei der Planung von Brückenkonstruktionen. Gleichwohl gibt es zuletzt Hinweise darauf, dass diese Regel nicht evidenzbasiert ist und auch Brückenversorgungen bei parodontal vorgeschädigten Zähnen, die diese Regel verletzen, durchaus erfolgreich sein können (Lulic et al., 2007; Rehmann et al., 2015). Die Autoren dieser Studien heben hervor, dass andere Faktoren für den Langzeiterfolg entscheidender sind. Insbesondere im Vergleich zu alternativen Versorgungsformen wie herausnehmbaren Zahnersatz scheinen solche Konstruktionen bessere Ergebnisse zu zeigen (Kerschbaum, 2004; Strub, 2011).

Der zur Gingiva hin gelegene Bereich eines Brückengliedes kann auf verschiedene Arten gestaltet werden. Man unterscheidet zwischen Schwebelbrücken, Tangentialbrücken, Spaltbrücken, Sattelbrücken und *Ovate Pontic* Brücken. Als Goldstandard bei Schaltlücken haben sich Tangentialbrücken erwiesen, da sie ein sehr gutes ästhetisches Ergebnis bei gleichzeitiger sehr guter Hygienefähigkeit ermöglichen (Strub, 2011).

## 1.2 Werkstoffe

Kronen und Brücken können aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt werden. Im Laufe der Jahre haben sich Arbeiten aus edelmetallhaltigen (EM) Legierungen (EML), edelmetallfreien (EMF) Legierungen (EMFL) und keramischen Werkstoffen etabliert. Diese Materialien werden häufig auch kombiniert eingesetzt. So kann eine Krone oder Brücke vollmetallisch, vollkeramisch oder keramisch verblendet ausgeführt sein. Bei verblendeten Arbeiten wird ein Metallkern so gestaltet, dass einzelne oder alle Flächen zusätzlich mit Keramik beschichtet werden, um so ein zahnfarbenes Werkstück herstellen zu können.

Vollmetallische Arbeiten aus einer edelmetallhaltigen Legierung galten auf Grund ihrer hervorragenden Biokompatibilität und Festigkeit lange als Goldstandard in der Zahnmedizin (Makhija et al., 2016). Durch stark gestiegene Edelmetallpreise und unzureichende Ästhetik metallischer Arbeiten selbst bei Verblendung wurden dentale Keramiken immer wichtigere Alternativen. Zudem wurden die Materialeigenschaften der Keramiken durch fortwährende technologische Weiterentwicklung immer weiter verbessert.

Die Arbeitsgruppe um Makhija führte 2016 eine Umfrage unter Zahnärztinnen und Zahnärzten in den USA zur Materialauswahl bei Einzelkronen durch. Sie berichten, dass im Frontzahnbereich über 84 % der Arbeiten keramisch hergestellt wurden, während es im Seitenzahnbereich immerhin noch zu 31 % keramisch verblendete Metallkronen und 32 % monolithische Zirkonkronen waren (Makhija et al., 2016). Eine ähnliche Umfrage aus Deutschland aus dem Jahr 2021 ergibt ähnliche Werte. Im Seitenzahnbereich waren es je nach Lage der Präparationsgrenze 56 – 60 % keramische Kronen bei nur ungefähr einem Drittel verblendete Metallkronen, im Frontzahnbereich gar bis zu 92,2 % keramische Kronen (Rauch et al., 2021). Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung, die dentale Keramiken mittlerweile in der zahnärztlichen Prothetik einnehmen.

Für alle dentalen Werkstoffe gilt dabei das gleiche Anforderungsprofil. Sie sollten möglichst wenig sensibilisierend, biokompatibel, mundbeständig und korrosionsfest sein (Diedrichs et al., 1995). Darüber hinaus sollten sie zur einfachen Verarbeitung ein niedriges Schmelzintervall haben, eine adäquate Stärke und Widerstandsfähigkeit aufweisen und möglichst wenig kosten (Sakaguchi et al., 2012). Die Vickers-Härte eines Werkstoffs sollte die des natürlichen Zahnschmelzes von ungefähr 340 kg/mm<sup>2</sup> nicht übertreffen, um Abrasionen an Antagonisten zu vermeiden (Wataha, 2002). Die dentalen Werkstoffe unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eigenschaft jedoch sehr stark voneinander. Aus ihnen lassen sich somit verschiedene Indikationen und Einsatzgebiete ableiten.

### 1.2.1 Metallische Werkstoffe

Trotz heterogener chemischer Zusammensetzungen der Legierungen können metallische Werkstoffe nach dem Hauptbestandteil oder den mechanischen Eigenschaften zusammengefasst werden. Für die Einteilung metallischer Dentalwerkstoffe stehen zwei Klassifizierungsschemata zur Verfügung. Die in der Literatur am weitesten verbreitete Klassifizierung dentaler Legierungen der American Dental Association (ADA) orientiert sich an der Zusammensetzung der Legierungen und unterteilt sie, wie in Tabelle 1 dargestellt, in hochedle, edle und edelmetallfreie Legierung (American Dental Association, 1984; Sakaguchi et al., 2012).

**Tabelle 1: ADA-Klassifikation dentaler Legierungen nach ihrer Zusammensetzung**

Gruppe	Zusammensetzung (in Gewichtsprozent)
hochedel	Goldgehalt $\geq 40$ %, Edelmetallgehalt $\geq 60$ %
edel	Edelmetallgehalt $\geq 25$ %
edelmetallfrei	Edelmetallgehalt $< 25$ %

Die ANSI/ADA Spezifikation Nr. 5 (ISO 1562) greift die ADA-Klassifikation für Dentallegierungen nach ihren physikalischen Eigenschaften auf. Die Legierungen werden vier Gruppen zugeordnet, die sich durch ihre jeweiligen Eigenschaften in Bezug auf die Dehngrenze für spezifische klinische Indikationen eignen (American Dental Association, 1989; Sakaguchi et al., 2012) (Tabelle 2).

**Tabelle 2: ADA-Klassifikation dentaler Legierung nach den physikalischen Eigenschaften**

ADA Typ	Härte	klinische Anwendung	Dehngrenze (MPa)	Dehnung (%)
I	weich	geringe Belastung, keine Okklusion, Inlays	$<140$	18
II	mittel	moderate Belastung, leichte Okklusion, Onlays und Inlays	140-200	18
III	hart	hohe Belastung, volle okklusale Belastung, Kronen, kurzspannige Brücken	201-340	12
IV	extra hart	sehr hohe Belastung, dünne Veneers, langspannige Brücken, herausnehmbarer Zahnersatz	$>340$	10

MPa = Megapascal

### 1.2.1.1 Edelmetallhaltige Legierungen

Gold, Platin, Iridium, Osmium, Palladium, Rhodium und Ruthenium sind edle Metalle, die in edlen oder hochedlen Legierungen verwendet werden. Gold als klassischer Edelmetallvertreter zeigt in der Reinform zwar einen gewünschten, warmen Gelbton und ist korrosionsstabil, weist allerdings eine zu geringe Härte auf. Reines, 24-karätiges Gold etwa erreicht auf der Härteskala nach Vickers einen Wert von 28 und eine Zugfestigkeit von 105 MPa (Sakaguchi et al., 2012). Es kann den mechanischen Anforderungen eines festsitzenden Zahnersatzes in der Mundhöhle auf Dauer nicht gerecht werden. Nichtsdestotrotz sind Gold und Palladium die Basis vieler Legierungen. Sie bringen auf Grund ihres niedrigen Schmelzpunktes und ihrer Fähigkeit, andere Legierungsbestandteile gut zu lösen und so ein homogenes Gefüge zu bilden, günstige Eigenschaften mit (Roberts et al., 2009; Wataha, 2002). Durch Zugabe anderer Metalle lassen sich die Härte und die Stärke maßgeblich modifizieren. Gebräuchliche hochedle Legierungen erreichen so, wie in Tabelle 3 dargestellt, Biegefestigkeiten von 400-600 MPa und eine Vickers-Härte bis zu 260. Ähnliche Werte erreichen auch edle Legierungen.

**Tabelle 3: physikalische und mechanische Eigenschaften verschiedener Edelmetalllegierungen**

Legierung	Solidus (°C)	Liquidus (°C)	Farbe	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Biegefestigkeit bei 0,2% Verformung (weich/hart) (MPa)	Elongation (weich/hart) (%)	Vickers-Härte (weich/hart) (kg/mm <sup>2</sup> )
hochedel							
Au-Ag-Pt	1045	1140	Gelb	18,4	420/470	15/9	175/195
Au-Cu-Ag-Pd-I	910	965	Gelb	15,6	270/400	30/12	135/195
Au-Cu-Ag-Pd-II	870	920	Gelb	13,8	350/600	30/10	175/260
edel							
Au-Cu-Ag-Pd-III	865	925	Gelb	12,4	325/520	27,5/10	125/215
Au-Ag-Pd-In	875	1035	Hellgelb	11,4	300/370	12/8	135/190
Pd-Cu-Ga	1100	1190	Weiß	10,6	1145	8	425
Ag-Pd	1020	1100	Weiß	10,6	260/320	10/8	140/155

Ag = Silber, Au = Gold, Cu = Kupfer, Ga = Gallium, In = Indium, Pd = Palladium, Pt = Platin, °C = Grad Celsius, g/cm<sup>2</sup> = Gramm pro Quadratcentimeter, MPa = Megapascal, kg/mm<sup>2</sup> = Kilogramm pro Quadratmillimeter, Werte übernommen von Sakaguchi et al., 2012

Edelmetallhaltige Legierungen können auf Grund ihrer Korrosionsresistenz keine Verbindung zu Keramiken herstellen. Um sie dennoch beschichten zu können, gibt es spezielle aufbrennfähige Edelmetalllegierungen. Sie zeichnet eine Beimischung unedler Metalle wie Zinn, Eisen, Titan oder Iridium aus, die in der Lage sind, Metalloxide zu bilden und damit Wasserstoffbrücken-Bindungen zur Keramikmasse einzugehen (Rau et al., 1999). Außerdem werden die

Legierungsbestandteile so zusammengefügt, dass die Biegefestigkeit und der E-Modul ausreichend hoch und denen der Verblendkeramiken angepasst sind, um Keramikabplatzungen auf Grund zu großer Unterschiede zwischen den Materialarten zu verhindern (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Eigenschaften von Edelmetalllegierungen für metallkeramische Restaurationen**

Typ	Zugfestigkeit (MPa)	Biegefestigkeit bei 0,2% Verformung (MPa)	E-Modul (GPa)	Elongation (%)	Vickers-Härte (VHN) (kg/mm <sup>2</sup> )	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Gießtemperatur (°C)
Au-Pt-Pd	480-500	400-420	81-96	3-10	175-180	17,4-18,6	1150
Au-Pd	700-730	550-575	100-117	8-16	210-230	13,5-13,7	1320-1330
Au-Pd-Ag	650-680	475-525	100-113	8-18	210-230	13,6-13,8	1320-1350
Pd-Ag	550-730	400-525	95-117	10-14	185-235	10,7-11,1	1310-1350
Pd-Cu	690-1300	550-1100	94-97	8-15	350-400	10,6-10,7	1170-1190
Au-Pt-Pd	480-500	400-420	81-96	3-10	175-180	17,4-18,6	1150

Ag = Silber, Au = Gold, Cu = Kupfer, Pd = Palladium, Pt = Platin, VHN = Vickers-Härtezahl, MPa = Megapascal, GPa = Gigapascal, kg/mm<sup>2</sup> = Kilogramm pro Quadratmillimeter, g/cm<sup>3</sup> = Gramm pro Kubikzentimeter, °C = Grad Celsius, Werte übernommen von Sakaguchi et al., 2012

Darüber hinaus ist bei aufbrennfähigen Edelmetalllegierung wichtig, dass das Schmelzintervall mindestens 100 °C über der Brenntemperatur der Verblendkeramik liegt. Das verhindert unerwünschte Veränderungen des Gerüsts durch den Brennvorgang. Außerdem müssen die Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) von Legierung und Keramik aufeinander abgestimmt und möglichst gleich sein. Während des Sinterungsvorgangs kommt es im erwärmten, gedehnten Zustand von Keramik und Legierung zur Ausbildung der Wasserstoffbrücken-Bindungen. Schrumpft nun in Folge eines abweichenden Wärmeausdehnungskoeffizienten ein Material während des Abkühlvorgangs deutlich stärker, bilden sich Spannungen im Gefüge des Werkstückes. Die Haltbarkeit der Verbindung beider Komponenten ist dann deutlich reduziert (Roberts et al., 2009; Strub, 2011).

Bis in die späten 1970er Jahre verwendeten die zahntechnischen Labore überwiegend Edelmetalllegierungen für die Herstellung von festsitzendem Zahnersatz. Durch zwei Faktoren kam es in der Folgezeit zur Weiterentwicklung der dentalen Legierungen. Zum einen wurden 1969 der Goldpreis dereguliert. Die Preise für Gold stiegen daraufhin auf das bis zu 23-fache und machten Gold als Legierungsbestandteil deutlich unattraktiver. Auch der Preis für andere Edelmetalle wie Palladium ist seitdem deutlichen Schwankungen unterworfen (Wataha, 2002). Zum anderen waren die mechanischen Eigenschaften weiter verbesserungswürdig. Insbesondere bei langspannigen Brücken kann es bei geringer Biegefestigkeit des Materials unter okklusaler Belastung zu Verwindungen kommen. Diese Verwindungen begünstigen Frakturen der Verblendkeramik (Wataha, 2002). Edelmetallfreie Legierungen wurden als Alternativen infolgedessen weiterentwickelt.

### 1.2.1.2 Edelmetallfreie Legierungen

Edelmetallfreie Legierungen werden oft nach dem Hauptlegierungsbestandteil benannt. So gibt es zum Beispiel Nickel-Chrom-Basis-, Kobalt-Chrom-Basis- oder Titanbasislegierungen. Für sie gelten die gleichen Anforderungen wie für edelmetallhaltige Legierungen. Gleichwohl weisen edelmetallfreie Legierungen grundsätzlich höhere E-Module und Härtegerade auf als Edelmetalllegierungen (Tabelle 5). Edelmetallfreie Legierungen etwa erreichen E-Module von bis zu 220 GPa, während selbst die härtesten EM-Legierungen nur auf bis zu 90 GPa kommen (Moffa et al., 1973; Wataha, 2002).

**Tabelle 5: Eigenschaften von edelmetallfreien Legierungen für metallkeramische Restaurationen**

Typ	Zugfestigkeit (MPa)	Biegefestigkeit bei 0,2% Verformung (MPa)	E-Modul (GPa)	Elongation (%)	Vickers-Härte (VHN) (kg/mm <sup>2</sup> )	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Gießtemperatur (°C)
Ni-Cr	400-1000	255-730	150-210	8-20	210-380	7,5-7,7	1300-1450
Co-Cr	520-820	460-640	145-220	6-15	330-465	7,5-7,6	1350-1450
Ti	240-890	170-830	103-114	10-20	125-350	4,4-4,5	1760-1860

Co = Kobalt, Cr = Chrom, Ni = Nickel, Ti = Titan, VHN = Vickers-Härtezahl, MPa = Megapascal, GPa = Gigapascal, kg/mm<sup>2</sup> = Kilogramm pro Quadratmillimeter, g/cm<sup>3</sup> = Gramm pro Kubikzentimeter, °C = Grad Celsius, Werte übernommen von Sakaguchi et al., 2012

Ein besonderer Fokus liegt bei edelmetallfreien Legierungen auf der Korrosionsbeständigkeit. Durch ihr hohes oxidatives Potential unterliegen sie einem hohen Oxidationsrisiko. So sind aus der Literatur Fälle von Legierungen mit starker Korrosionsneigung bekannt, die sogar zu Schleimhautreaktionen und allergischen Reaktionen geführt haben (Canay et al., 1992; Kedici et al., 1995; Meyer et al., 1993; Parvinen et al., 1976). Daraufhin wurde durch die ADA Spezifikation Nr. 14 (ISO 6871) festgelegt, dass edelmetallfreie Legierungen mindestens 20 Gewichtsprozent Chrom und einen Gesamtanteil von mehr als 85 Gewichtsprozent Chrom, Kobalt und Nickel enthalten müssen. Da Kobalt und Chrom eine ausgeprägte Tendenz zur Reaktion mit Sauerstoff haben, bildet sich ähnlich wie bei Titan eine Oxidschicht auf der Oberfläche. Eine Lösung durch den Speichel kann nicht mehr erfolgen und die Legierungen werden wesentlich korrosionsstabiler (Strub, 2011).

Edelmetallfreie Legierungen stellen höhere Anforderungen an die dentaltechnische Verarbeitung. Bedingt durch eine im Vergleich zu edelmetallhaltigen Legierungen etwa ein Drittel höhere Härte und einen doppelt so hohen E-Modul im Vergleich zu Typ IV Edelmetalllegierungen ist die Ausarbeitung deutlich erschwert. Außerdem ist die Dehnrage mit 1-2 % sehr niedrig, was eine schlechte Polierbarkeit bedingt (Sakaguchi et al., 2012).

Die geringere Dichte und die sehr hohen Gießtemperaturen von bis zu 1800 °C führen darüber hinaus zu einem nur aufwendig reproduzierbaren Gießprozess. Temperatursteuerung und Abkühlintervalle sind von entscheidender Bedeutung, um die Ausbildung eines inhomogenen Gefüges mit einer dendritischen Struktur

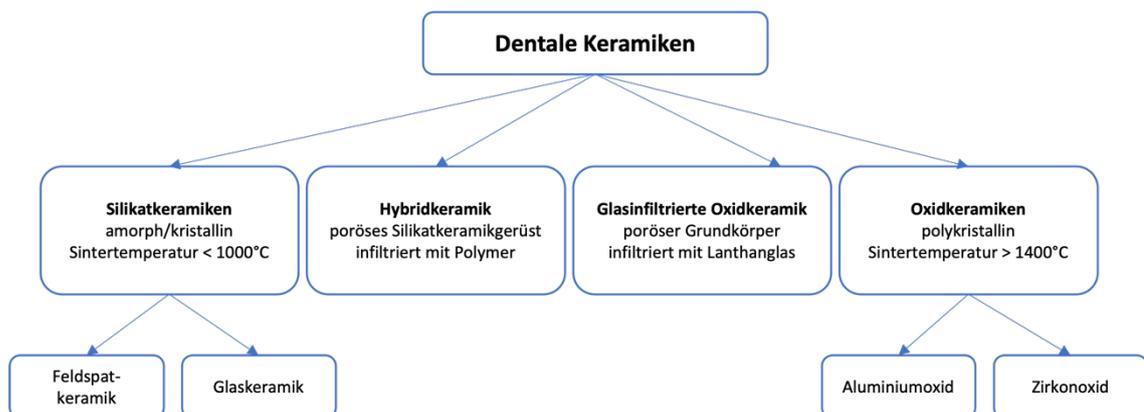
zu vermeiden. Diese Strukturen sind nachteilig, da interdendritische Bereiche kobaltarm und damit korrosionsanfälliger sind (Sakaguchi et al., 2012).

Edelmetallfreie Legierungen stellen trotz dieser Herausforderungen auf Grund ihrer guten mechanischen Eigenschaften und der geringen Kosten eine attraktive Alternative zu Edelmetalllegierungen dar. Lediglich die durch die silbrige Farbe bedingte, eingeschränkte Ästhetik erweist sich als nachteilig. Die voranschreitende Weiterentwicklung dentaler Keramiken ermöglicht zunehmend auch vollkeramische Kronen und eröffnet somit eine weitere Option in der Materialauswahl zur Anfertigung von festsitzendem Zahnersatz.

### 1.2.2 Nichtmetallische Werkstoffe

Nichtmetallische Werkstoffe für die Herstellung von festsitzendem Zahnersatz auf natürlichen Zähnen sind vor allem Keramiken. Keramiken sind eine eigene Werkstoffgruppe, die ohne Metalle auskommt. Ihr großer Vorteil verglichen mit Metallen ist ihre Farbe. Keramiken sind zahnfarben und haben je nach Keramikart verschiedene optische und mechanische Eigenschaften, die die natürliche Zahnstruktur imitieren können. Darüber hinaus weisen Keramiken eine hervorragende Biokompatibilität auf (Zarone et al., 2019). Dentalkeramiken können dabei auf drei Arten eingeteilt werden: nach dem Verwendungszweck, nach der Verarbeitungsart und nach der Zusammensetzung (Sakaguchi et al., 2012).

Betrachtet man die Zusammensetzung, so werden Keramiken vier Hauptgruppen zugeordnet. Man unterscheidet zwischen Silikatkeramiken, Oxidkeramiken, glasinfiltrierten Oxidkeramiken und Hybridkeramiken (Kern et al., 2015; Pospiech, 2014; Sakaguchi et al., 2012).



**Abb. 2: Einteilung dentaler Keramiken.** modifiziert nach Pospiech, 2014

Weitere Einteilungen folgen der Anwendung der Keramik (Keramiken für die Verblendung von Metallkronen, vollkeramische Restaurationen mit Gerüst- und Verblendkeramiken) oder der Verarbeitungsmöglichkeit (Sintern, Schlickerguss, Hitze-Pressen, CAD/CAM).

### 1.2.2.1 Silikatkeramiken

Silikatkeramiken basieren auf einer amorphen Glasmatrix, in die Silikatkristalle eingearbeitet werden. Das Hinzufügen von Silikaten zu einer Glasmatrix kann in zwei verschiedenen Prozessen erreicht werden. Wird als Hauptbestandteil natürlich vorkommender Feldspat benutzt und mit Silikaten verarbeitet, so handelt es sich um Feldspatkeramiken. Der Feldspat wird zusammen mit anderen Rohmaterialien wie Silikatpulver und alkalischen Mineralien gemischt und auf ungefähr 1200 °C erhitzt. Der Feldspat ist nun geschmolzen und bildet eine amorphe Glasphase und eine kristalline Phase, bestehend zum Beispiel aus Leuzit (Warren et al., 1938). Diese Masse wird anschließend rapide in einem Wasserbad abgekühlt und zerspringt so in kleine Fragmente, die anschließend zum verarbeitbaren Rohstoff gemahlen werden. Diesem werden noch metallische Pigmente zur Farbgebung zugefügt. Im anschließenden Sinterungsbrand im Zahntechniklabor verbacken die Partikel und es entsteht die fertige Dentalkeramik (Sakaguchi et al., 2012).

Um sich von natürlich vorkommenden Rohmaterialien unabhängiger zu machen, entwickelte die Keramikindustrie ein Verfahren zur synthetischen Herstellung von Silikatkeramiken (Gracis et al., 2015). Ausgangspunkt ist eine Schmelze verschiedener Oxide wie Lithiumoxid oder Siliziumoxid mit homogener Durchmischung. Kühlt sie ab, so entsteht normalerweise eine amorphe Masse, nämlich herkömmliches Glas. Durch gezielte Temperatursteuerung (Tempern) kann die Schmelze jedoch zur Ausbildung kleinster Kristallite angeregt werden. Diese fungieren als Keime für eine Kristallisation, sodass sich eine Glaskeramik bildet. Der Kristallisationsprozess lässt sich durch Zugabe von Keimbildnern, typischerweise Zirkoniumoxid in Kombination mit Titanoxid, gezielt steuern. So können die Eigenschaften der Glaskeramik modifiziert werden (Rüssel, 1997).

Sowohl Feldspatkeramiken als auch Glaskeramiken sind somit Keramiken mit in einer Glasmatrix eingelagerten Kristallen. Diese Kristalle können je nach Herstellungsprozess Lithiumdisilikate, zirkonverstärkte Lithiumsilikate oder Leuzite sein (Kern et al., 2015). Sie modifizieren die optischen und mechanischen Eigenschaften der Glaskeramik.

Silikatkeramiken zeichnen sich durch ihren hohen Glasanteil aus. Dieser bewirkt eine so gute Transluzenz und Lichtleitung, dass manche Autoren gar von einem Chamäleon-Effekt sprechen, da Silikatkeramiken in der Lage seien, die Umgebungsfarbe zu adaptieren (Kern et al., 2015). Die Transluzenz lässt sich durch den Anteil an Zinnoxid und Titanoxid steuern. Je höher er ist, desto opaker wird die Silikatkeramik. Durch die Beimischung von Ceriumoxid werden eine Opaleszenz und Fluoreszenz ähnlich der des natürlichen Schmelzes ermöglicht (Sakaguchi et al., 2012).

Eine Erhöhung des Kristallanteils führt zur kristallinen Verstärkung und damit zu einer besseren Stabilität und einem höheren Widerstand gegen Rissausbreitungen. Feldspatkeramiken erreichen eine Biegefestigkeit von 60-80 MPa, Lithiumdisilikatkeramiken von 370-460 MPa (Sakaguchi et al., 2012; Wendler et al., 2017; Zarone et al., 2019). Außerdem werden die Materialien so deutlich opaker.

Silikatkeramiken finden auf Grund ihrer Eigenschaften Anwendung vor allem in der Herstellung von Frontzahnkronen, *Veneers*, *Inlays*, *Onlays* oder *Table-Tops* sowie als Verblendkeramiken von Gerüsten auf Oxidkeramik-Basis (Spitznagel et al., 2018). Die Verwendung als Basis für Brücken wird kritisch diskutiert, derzeit gelten Oxidkeramiken als vorzuziehendes Material (Zarone et al., 2019)

### 1.2.2.2 Oxidkeramiken

Oxidkeramiken bestehen aus reinem Aluminiumoxid oder Zirkondioxid. Sie bilden ein ausschließlich kristallines, einphasiges und einkomponentiges Gerüst und sind dadurch sehr stabil (Pospiech, 2014).

Zirkondioxid liegt im Reinstoff als weißes Pulver vor. Nach dem Schmelzvorgang kann es drei verschiedenen Kristallphasen bilden. Kühlt die Schmelze ab, so entsteht bei Temperaturen zwischen 2370 °C und 2680 °C zunächst die kubische Phase, die ab 2370 °C in die tetragonale Kristallisationsstruktur umgewandelt wird. Kühlt das Zirkondioxid weiter ab, so wird ab 1170 °C die monokline Phase gebildet. Beim Übergang von der tetragonalen in die monokline Phase findet strukturbedingt eine Volumenzunahme von ungefähr 4 % statt. Diese ist für die dentaltechnische Verarbeitung problematisch, da es so zu Spannungen und Rissen im Werkstoff kommen kann (Strub, 2011).

Aus diesem Grund wird dem Zirkondioxid ein Teil Yttrium- oder Ceriumoxid hinzugefügt. Sie ermöglichen die teilweise Stabilisierung der tetragonalen Phase auch bei Raumtemperatur. Es bildet sich eine metastabile Struktur mit Kristallen vor allem in der tetragonalen und kubischen Phase. Kommt es zu einem Einwirken äußerer Kräfte, können sich Risse bilden. Bedingt durch die von Rissen ausgehenden Zugspannungen lässt der Druck auf die Matrix der Zirkondioxidteilchen nach. Das führt zu einer Umwandlung der tetragonalen in die monokline Phase, wodurch es zu einer lokalen Volumenzunahme im Bereich der Rissbildung kommt. Der dabei entstehende Druck kann zu einem teilweisen Verschluss des Risses führen, ähnlich einem *Airbag*-Effekt. Die weitere Ausdehnung des Risses wird dadurch zumindest erschwert (Stawarczyk et al., 2016).

Auf Grund dieser Eigenschaften zählen Zirkonoxidkeramiken zu den biegefestesten und bruchzähsten dentalen Keramiken. Die Biegefestigkeit liegt mit 500-1200 MPa deutlich höher als bei Silikatkeramiken (Zarone et al., 2019). Durch das Fehlen einer Glasphase sind sie sehr opak und finden ihren Einsatz als Opaker auf Metallgerüsten oder als Gerüst für vollkeramische Versorgung, da das ästhetische Verblenden mit einer Glaskeramik gut möglich ist (Spitznagel et al., 2018; Strub, 2011; Zhang et al., 2018).

### 1.2.2.3 Glasinfiltrierte Oxidkeramiken und Hybrid- und Verbundkeramiken

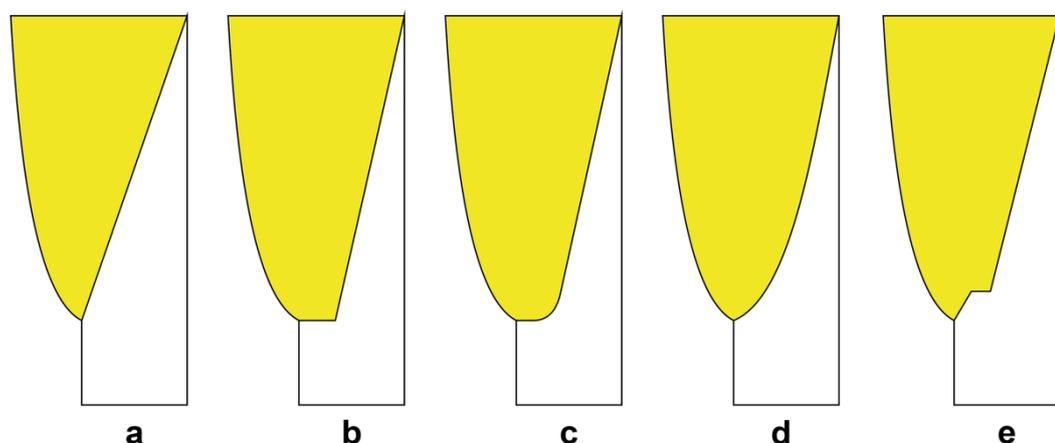
Glasinfiltrierte Keramiken beruhen auf einem offenporös gesintertem Grundkörper, meist einer hochreinen Aluminiumoxid-Keramik. In diesen Grundkörper wird in einem Reaktionsbrand Lanthanglas infiltriert (Salmang et al., 2006). So steigen die Festigkeit und Bruchzähigkeit.

Hybrid- und Verbundkeramiken gemein ist, dass sie anorganische und organische Werkstoffe vereinen und die Eigenschaften beider Materialklassen kombinieren. Ein offenporös gesintertes Silikatkeramikgerüst bildet die Grundlage der Hybridkeramiken. Dieses wird anschließend mit einem organischen Polymer infiltriert und thermisch ausgehärtet und bildet so eine Hybridmatrix. Sie besteht am Beispiel der Keramik VITA Enamic zu 86 % aus silikatischen Anteilen und zu 14 % aus Polymeren. Gemeinsam bilden sie einen adhäsiven, durchdringenden Verbund. Bei den Verbundkeramiken indes besteht das Gerüst aus einer organischen Polymermatrix, die mit anorganischen Füllkörpern durchsetzt ist. Diese Füllkörper können aus Silikat- und Zirkonoxid-Nanopartikeln bestehen (Kern et al., 2015). Alle Hybridkeramiken weisen Biegefestigkeiten zwischen 150-250 MPa auf und erreichen einen E-Modul zwischen 15 und 30 GPa, der dem des Dentins ähnelt (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Diese Keramikarten sind erst seit kurzer Zeit verfügbar und werden intensiv beforscht. Zurzeit werden sie von Herstellerseite für kleinflächige Restaurationen wie *Inlays*, *Onlays*, *Veneers* und Einzelkronen empfohlen. Es fehlen allerdings noch Studien mit klinischen Langzeitdaten (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018; Facenda et al., 2018).

### 1.3 Präparationsdesign

Je nach Werkstoff bedarf es eines speziellen Präparationsdesigns zur Vorbereitung des Zahnstumpfs. Auf Grund der unterschiedlichen mechanischen und physikalischen Eigenschaften müssen die Werkstoffe unterschiedlich dimensioniert werden, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten. Für rein metallische Kronen ohne Verblendung reicht eine zirkuläre Substanzreduktion von 0,8 mm und eine okklusale von 1,2 mm aus, für metallkeramische oder vollkeramische Kronen sind Reduktionen von 1,2 mm zirkulär bzw. 1,5 mm okkusal erforderlich (Strub, 2011). Die Form und Lage der Präparationsgrenze können dabei auf verschiedene Weisen gestaltet werden. Sie kann in Form einer Hohlkehle, einer abgerundeten oder eckigen Stufe, einer Stufe mit Abschrägung oder tangential gestaltet sein (Abb. 3).



**Abb. 3: Verschiedene Formen der Präparationsrandgestaltung.** a – tangentielle Präparation, b – Stufenpräparation, c – abgerundete Stufenpräparation, d – Hohlkehlnpräparation, e – Stufe mit Abschrägung, gelb – Werkstoff, weiß - Zahn.

Für metallische Restaurationen haben sich Hohlkehlpräparationen etabliert. Sie sind einfach zu präparieren, gut sichtbar und ermöglichen eine ausreichende Dicke des Restorationsmaterials (Goodacre et al., 2001). Die Empfehlungen für metallkeramische Restaurationen sind weniger eindeutig. Die Arbeitsgruppe um Wöstmann zeigte 2005 in einem Review, dass die Form der Randgestaltung letztlich keinen Einfluss auf die Passgenauigkeit der Krone hat (Wöstmann et al., 2005). Die Präparationsform sollte eher aus ästhetischen und praktischen Gründen gewählt werden (Goodacre et al., 2001). Vollkeramische Kronen können sowohl mit einer Hohlkehl- als auch mit einer Stufenpräparation angefertigt werden. Wichtig ist hier vor allem, dass es keine scharfen Ecken oder Kanten gibt, da so Stress und Spannungen im Material entstehen können (Strub, 2011). Studien zeigen, dass die Bruchfestigkeit vollkeramischer Kronen von der Zementierung abhängt. Werden sie nach einer Hohlkehlpräparation zementiert, so weisen sie signifikant schlechtere Werte für die Bruchfestigkeit auf als bei einer Zementierung nach einer Stufenpräparation. Werden sie indes adhäsiv befestigt, zeigt die Form der Präparationsgrenze keinen Einfluss (Bernal et al., 1993; Malament et al., 1999).

Die Lage der Präparationsgrenze in Relation zur Gingiva hat einen großen Einfluss auf die parodontale Gesundheit. Liegt die Präparationsgrenze subgingival in unmittelbarer Nähe des bindegewebigen Attachments, so ist das Risiko für einen Attachmentverlust deutlich erhöht (Schatzle et al., 2001; Valderhaug, 1980). Die Präparationsgrenze sollte deshalb zum maximalen Schutz des Parodonts möglichst supragingival enden (Strub, 2011). Gleichwohl ist das nicht immer möglich. Eine ausreichende Höhe des Zahnstumpfes ist notwendig, um eine genügende Retention und Widerstandsform sicherzustellen. Erosions- oder kariöse Defekte oder bestehende Füllungen können sich jedoch bis in Gingivanähe ausdehnen und sollten in die Präparation einbezogen werden (Stern et al., 1975). Auch ästhetische Erfordernisse gerade im Frontzahnbereich können eine Ausdehnung der Restauration nach subgingival nötig machen (Goodacre, 2004; Goodacre et al., 2001). In diesen Fällen ist die Analyse des dentogingivalen Komplexes, der sich aus dem bindegewebigen Attachment, dem Saumepithel und dem Sulkus zusammensetzt, erforderlich. Ein Abstand der Präparationsgrenze von 2,5-3 mm zum Knochenrand darf nicht unterschritten werden (Kois, 1996). Sollte dies nicht möglich sein und diese sogenannte biologische Breite verletzt werden, kann sie durch eine parodontalchirurgische Pfeilerzahnverlängerung wiederhergestellt werden (Strub, 2011).

## 1.4 Befestigungszemente

Für die Zementierung einer Restauration stehen verschiedene Befestigungszemente zur Verfügung. Sie werden in die zwei Klassen wasserbasierte Zemente und polymerisierende Zemente eingeteilt. Zu den wasserbasierten Zementen gehören Glasionomer- und Zink-Phosphat-Zemente. Die Polymerisierenden Zemente umfassen die Befestigungskomposite und Harzmodifizierten Glasionomerzemente (Tabelle 6) (Edelhoff et al., 2007; Sakaguchi et al., 2012).

**Tabelle 6: Einteilung und Anwendung dentaler Zemente**

Zement	Anwendung	Produktbeispiel
Zemente auf Wasserbasis		
Glasionomerzemente	metallische Restaurationen, Aluminium- und Zirkonoxidrestaurationen, Langzeitprovisorien	Ketac-Cem Aplicap und Maxicap (3M Espe, Deutschland), Equia (GC America, USA)
Zink-Phosphat-Zemente	konventionelle Restaurationen, Langzeitprovisorien	Harvard Zement (Harvard Dental International, USA), Hoffmann's Zement (Hoffmann Dental Manufaktur, Deutschland)
Polymerisierende Zemente		
Befestigungskomposite und adhäsive Zemente	metallische Restaurationen, vollkeramische Kronen, Brücken, Inlays, Onlays und Veneers, Stiftkerne und Stifte, nicht-retentive Präparationen	Panavia 21 (Kuraray, Japan), RelyX Universal (3M Espe, Deutschland)
Harzmodifizierte Glasionomerzemente	metallische Restaurationen,- Aluminium- und Zirkonoxidrestaurationen, Langzeitprovisorien	Ketac Nano Quick (3M Espe, Deutschland),

modifiziert nach Edelhoff et al., 2007

Zemente auf Wasserbasis gelten als die konventionellen Zemente. Insbesondere Zink-Phosphat-Zemente wurden seit Jahrzehnten klinisch erfolgreich angewendet und gelten nicht wenigen Autoren als der „Goldstandard“ (Edelhoff et al., 2007). Im Jahr 1971 führten Wilson und Kent Glasionomerzemente für die dentale Anwendung ein (Wilson et al., 1971). Sie entwickelten sich auf Grund ihrer guten Haftwerte zu Schmelz und Dentin und der guten Biokompatibilität schnell als eine wichtige Alternative zu den durchaus pulpairritierenden Zink-Phosphat-Zementen (Moberg et al., 2019). Beide Zementarten zeichnen sich durch eine einfache Verarbeitbarkeit aus und können auch gut bei subgingival endenden Restaurationsrändern angewendet werden.

Mit der Weiterentwicklung der dentalen Keramiken hin zu den ersten vollkeramischen Kronen fielen jedoch zwei Nachteile der Zemente auf

Wasserbasis zunehmend stärker ins Gewicht. Zum einen eignen sie sich auf Grund ihrer weißen Farbe und Opazität nicht, um transluzente keramische Werkstücke zu befestigen (Strub, 2011). Zum anderen müssen Restaurationen retentiv gestaltet sein, um mittels konventioneller Zemente verankert werden zu können. Keramikrestaurationen jedoch sollten keine Retention und keine Friktion aufweisen, da die dadurch im Werkstück auftretenden Spannungen die Stabilität der Restauration verringern (Bernal et al., 1993; Goodacre et al., 2001). Außerdem ist eine Voraussetzung für das konventionelle Zementieren, dass die Biegefestigkeit des Restaurationsmaterial größer als 300 MPa ist (Kern et al., 2015).

Befestigungskomposite bilden im Gegensatz zu konventionellen Zementen eine adhäsive Verbindung sowohl zum Zahn als auch zur Restauration. Dadurch kann auf ein retentives Präparationsdesign verzichtet werden und auch die Form der Präparationsgrenze hat letztlich keinen Einfluss auf die Biegefestigkeit der Restauration (Bernal et al., 1993; Malament et al., 1999). Auch für Materialien mit einer Biegefestigkeit unter 300 MPa sind Befestigungskomposite geeignet (Strub, 2011). Darüber hinaus weisen sie sehr gute optische Eigenschaften auf und stehen in verschiedenen Zahnfarben zur Verfügung. So lassen sich selbst transluzente Keramiken wie Lithiumdisilikat-Keramiken im Frontzahnbereich ästhetisch ansprechend befestigen (Edelhoff et al., 2007). Wichtig ist, wie bei allen adhäsiven Materialien, eine suffiziente Trockenlegung. Das limitiert den Einsatz bei subgingival endenden Präparationsgrenzen (Strub, 2011).

## 1.5 Erfolg und Überleben

In der Beurteilung einer Restauration im Patientenmund unterscheidet man zwischen Erfolg und Überleben einer Restauration. Die Arbeitsgruppe um Pjetursson definierte 2007 den Begriff „Erfolg“ als das Verweilen der Restauration ohne jegliche Einschränkung oder Änderung im Patientenmund. Der Begriff „Überleben“ wurde von den Autoren dahingehend beschrieben, dass eine Restauration zwar Veränderungen und auch Mängel aufweisen kann, sie allerdings in Funktion in situ geblieben ist (Pjetursson et al., 2007). Somit stellt das Auftreten einer Komplikation den Endpunkt des Erfolges einer Restauration da. Je mehr mögliche Komplikationen in einer Studie untersucht werden, desto höher ist also die Wahrscheinlichkeit, dass eine Restauration nicht erfolgreich ist. Aus diesem Grund unterscheidet sich die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Restauration in der Regel deutlich von der Überlebenschwahrscheinlichkeit (Flemmig et al., 2009). Je nach Einbeziehung der Zahl der Komplikationsfaktoren ist sie mehr oder weniger ausgeprägt niedriger.

Viele Autoren greifen daher in jüngerer Zeit auf die Berechnung von jährlichen Komplikationsraten zurück (Pjetursson et al., 2015; Pjetursson et al., 2007; Sailer et al., 2015). Hierfür wird die Gesamtexpositionszeit der untersuchten Restaurationen (*total exposure time* = TET) summiert. Die jährliche Komplikationsrate (*Annual Failure Rate* = AFR) ergibt sich anschließend aus der Anzahl der Ereignisse pro Gesamtexpositionszeit. Mit Hilfe der AFR lässt sich auch die Komplikationswahrscheinlichkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt – eine konstante jährliche AFR angenommen – errechnen. Die Berechnung der AFR kann dabei je Komplikationsart erfolgen, um sie so vergleichbarer mit anderen Studien zu machen.

## 1.6 Einflussfaktoren auf den Erfolg von Restaurationen

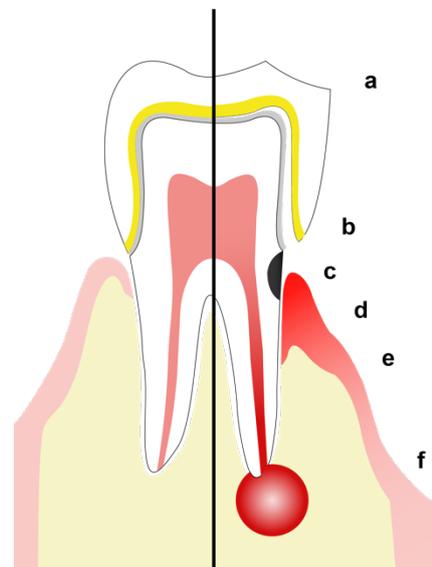
Burke und Lucarotti werteten 2009 Abrechnungsdaten des *National Health Service* (NHS) über einen Zeitraum von 10 Jahren aus und untersuchten, welche Faktoren einen signifikanten Einfluss auf das Überleben von Kronen haben. Aus dem Untersuchungskollektiv mit 21809 Patientinnen und Patienten und mehr als 47474 Kronen zeigte sich, dass eine endodontische Versorgung, der Versicherungsstatus, ein Zahnarztwechsel, die Regelmäßigkeit der unterstützenden Parodontitis-Therapie, die Art der Krone, die Zahnposition, das Patientenalter, der Quadrant der Versorgung, der Wohnort, die Erfahrung des Behandlers und das Geschlecht der Patientinnen und Patienten einen signifikanten Einfluss auf das Überleben von Kronenrestorationen hatten. Als größter Faktor stellte sich gleichwohl das verwendete Restaurationsmaterial heraus (Burke et al., 2009).

Allerdings wertete diese Studie keine restaurations- oder materialspezifischen Daten aus, die nur eine klinische Untersuchung zeigen kann, sondern beschränkte sich auf reine Abrechnungsdaten. Studien zeigen, dass auch nur klinisch ersichtliche Faktoren wie die Oberflächenrauheit (Bollen et al., 1997; Waerhaug, 1956), die verwendete Zementart (Contrepois et al., 2013), die Randgestaltung (Bader et al., 1991; Lang et al., 1983; Valderhaug et al., 1993) und die Mundhygienefähigkeit der Patientinnen und Patienten (Highfield et al., 1978; Silness, 1970) einen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von Komplikationen ausüben können.

## 1.7 Komplikationen

In der Literatur werden Komplikationen in technische und biologische Komplikationen unterteilt (Abb. 4). Diese Einteilung folgt vor allem einer Reihe von Reviews, die die Arbeitsgruppe um Pjetursson zum Erfolg und Überleben von Kronen und Brücken durchgeführt hat (Pjetursson et al., 2007; Pjetursson et al., 2015; Pjetursson et al., 2007; Pjetursson et al., 2004).

Zu den am häufigsten auftretenden biologischen Komplikationen zählen Karies an Pfeilerzähnen, Verlust der Vitalität und Verfärbungen im Bereich des Kronenrandes (Sailer 2015). Manche Autoren führen auch parodontale Veränderung wie erhöhte Taschensondierungstiefen, Rezessionen, das klinische Attachmentlevel oder das gingivale Entzündungsniveau an, wobei es schwierig ist, einen Schwellenwert zu bestimmen, ab welcher ein Wert als Komplikation gezählt wird. Daher werden häufig unversorgte Vergleichszähne herangezogen (Einarsdottir et al., 2018; Sailer et al., 2018).



**Abb. 4: Die möglichen Komplikationen einer Krone, links: ideale Restauration, rechts: Restauration mit verschiedenen Komplikationen.**  
a = Verblendfraktur, b = Dezementierung, c = Sekundärkaries, d = entzündete Gingiva, e = Attachmentverlust, f = chronisch apikale Parodontitis

Technische Komplikationen sind insbesondere Frakturen des Restaurationsgerüsts, Chipping-Defekte der Keramik, Retentionsverlust oder Dezementierung, auftretende Korrosionserscheinungen und ästhetisches Versagen (Sailer 2015).

## 1.8 Literaturergebnisse

### 1.8.1 Restaurationsbezogene Studienergebnisse

Es gibt viele Studien zu den Themen Erfolg und Überleben von Restaurationen. Eine Suche in der Literaturdatenbank PubMed nach dem Suchterm "(crown OR "fixed partial denture" OR bridge OR "fixed dental prosthesis" OR "fdp"[All Fields]) AND ("dental"[All Fields] OR dentistry OR prosthodontic) AND (failure OR complication OR success OR survival OR longevity) NOT (implant OR "case reports"[PT] OR "comment"[PT] OR "editorial"[PT] OR "interview"[PT] OR "letter"[PT] OR "news"[PT] OR "newspaper article"[PT])" ergibt 6437 Suchtreffer (Stand: 19.12.2022). Die Zahl der Studien ist in den letzten 10 Jahren stark angestiegen. Diese Studien berichten zum Teil - nicht zuletzt auf Grund verschiedener methodischer Ansätze - sehr unterschiedliche Ergebnisse.

Generell zeigt sich, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit für Kronen höher liegt als für Brücken. Auch zwischen den verwendeten Restaurationsmaterialien gibt es erhebliche Unterschiede. Eine Studie aus Großbritannien kam beispielsweise auf ein Überleben von 100 % für ein Follow-Up bis zu 50 Jahren von Kronen in einer privaten Praxis (Olley et al., 2018), ohne nach dem Material zu unterscheiden. Reitemeier et al. fanden eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 94,3 % für metallkeramische Kronen nach 10 Jahren (Reitemeier et al., 2013), andere Autoren beobachteten eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 92,3 % für EM-Kronen und 73,2 % für Zirkonoxidkronen nach 5 Jahren (Passia et al., 2013). Weitere Studien erreichten ähnliche Ergebnisse für metallkeramische Kronen (Naumann et al., 2011) und für Zirkonoxidkronen (Ortorp et al., 2012). Auch für Kronen auf Basis einer edelmetallfreien Kobalt-Chrom-Legierung ermittelten Ortorp et al. eine Rate von 90,3% Komplikationsfreiheit nach 5 Jahren (Ortorp et al., 2012).

Studien zum Überleben und Erfolg von Brückenkonstruktionen kommen auf vergleichbare Ergebnisse. So fand die Arbeitsgruppe um Svanborg eine Überlebensrate von 92,8 % und eine Erfolgsrate von 83,8 % nach 5 Jahren für Brücken auf Basis einer Kobalt-Chrom-Legierung (Svanborg et al., 2013). Andere Autoren errechneten für metallkeramische Brücken Überlebensraten von 91,4 % nach 5 Jahren und 70,3% nach 10 Jahren (Brägger et al., 2011) bzw. 95 % nach 6 Jahren (Makarouna et al., 2011).

In verschiedenen Reviews beschäftigte sich die Arbeitsgruppe um Pjetursson damit, die zahlreichen verfügbaren Studien systematisch einzuordnen. So kamen sie 2007 in einem Review für den Erfolg von Brücken mit 4 eingeschlossenen Studien zu dem Ergebnis, dass die jährliche Komplikationsrate bei 3,41 % lag, woraus sich eine Erfolgsrate von 84,3 % nach 5 Jahren ergab. In dieser Arbeit fand allerdings hinsichtlich der Erfolgsrate keine Unterscheidung nach Material statt. Die ermittelten Überlebensraten für metallkeramischen Konstruktionen

hingegen ergaben eine jährliche Komplikationsrate von 1,15 % und lagen damit bei 94,4 % nach 5 Jahren. Für einen Beobachtungszeitraum von 10 Jahren ermittelte das Review eine Überlebensrate von 89,2 %, allerdings ohne Unterscheidung des Materials. Als häufigste Komplikation erwiesen sich Karies und der Verlust der Pfeilerzahnvitalität. Bereits hier zeigte sich die ausgeprägte Differenz zwischen Erfolgs- und Überlebensrate (Pjetursson et al., 2007).

In einem weiteren Review von 2015 untersuchten Pjetursson et al. erneut die Überlebensrate von Brücken, diesmal mit Unterscheidung der Arbeiten in metallkeramische und verschiedene Keramikbrücken und Aufschlüsselung der Komplikationsereignisse. Dabei fanden sie, dass die Überlebensraten von keramischen Restaurationen niedriger waren als die von metallkeramischen Restaurationen. So lag die geschätzte Überlebensrate nach 5 Jahren für metallkeramische Restaurationen etwa bei 94,4 %, während sie für Zirkonoxidbrücken bei 90,4 %, für glasinfiltrierte Aluminiumoxidbrücken bei 86,2 % und für verstärkte Glaskeramik-Brücken bei 89,1 % lag. An Pfeilerzähnen von Zirkonoxidbrücken trat signifikant häufiger eine Karies auf als an metallkeramischen Brückenkonstruktionen, und auch Gerüst- und Keramikfrakturen traten häufiger an keramischen Konstruktionen auf. Darüber hinaus errechneten die Autoren in diesem Review jährliche Raten für die einzelnen Komplikationen. Die höchsten Raten für metallkeramische Brücken ergaben sich für Randverfärbungen (4,82 % pro Jahr) und Chipping-Defekte (1,79 % pro Jahr). Für Zirkonoxidbrücken waren es ebenfalls die Komplikationen Randverfärbung (6,72 % pro Jahr) und Chipping-Defekt (4,33 % pro Jahr). Auffällig ist, dass die Werte der jährlichen Komplikationsraten bei Zirkonoxidbrücken deutlich höher liegen als bei metallkeramischen Brücken (Pjetursson et al., 2015).

Auch für Einzelkronen erarbeitete die Arbeitsgruppe 2015 ein Review nach dem gleichen Schema. Hier zeigte sich, dass die Überlebensraten nach 5 Jahren für keramische Kronen auf dem gleichen Niveau wie für metallkeramische Kronen lagen (metallkeramische Kronen: 94,7 %, Lithium-Disilikat-verstärkte Glaskeramikkronen: 96,6 %, glasinfiltrierte Aluminiumoxidkronen: 94,6 %, Zirkonoxidkronen: 92,1 %). Lediglich Feldspat/Silizium-basierte Keramikkronen wiesen mit einer Überlebensrate von 90,7 % nach 5 Jahren signifikant schlechtere Werte auf. Insbesondere in posterioren Regionen erreichten Feldspat/Silizium-basierte Keramikkronen und Zirkonoxidkronen schlechtere Überlebensraten. Gerüstfrakturen traten bei allen keramischen Restaurationen häufiger auf als bei metallkeramischen Arbeiten. Die höchsten jährlichen Komplikationsraten für metallkeramische Kronen ergaben sich bei den Komplikationen Chipping-Defekt (0,53 %) und Randverfärbung (0,36 %). Für Zirkonoxidkronen waren es die Komplikationen Retentionsverlust (0,97 %), Chipping-Defekt (0,64 %) und Gerüstfraktur (0,64 %) (Sailer et al., 2015).

### **1.8.2 Parodontale Studienergebnisse**

Studien konnten schon früh nachweisen, dass eine Restauration als Risikofaktor für die Progredienz einer Parodontitis angesehen werden kann. So zeigte Valderhaug 1980, dass es an überkronen Zähnen zu höheren Taschensondierungstiefen und einer stärkeren Reduktion des klinischen Attachmentlevels kommt als an natürlichen Vergleichszähnen. Lag der

Kronenrand weiter subgingival, so war der Effekt signifikant stärker als bei supragingival gelegenen Kronenrändern (Valderhaug, 1980). Dieses Ergebnis gilt auch für Brücken (Valderhaug et al., 1993). Vor allem die Lage des Restaurationsrandes scheint dabei entscheidend zu sein. Je näher er am Gingivarand lokalisiert ist, desto ausgeprägter ist der Attachmentverlust (Gunay et al., 2000; Schatzle et al., 2001). Auch ein überhängender Restaurationsrand ist ein wesentlicher Risikofaktor für eine gingivale Entzündung (Lang et al., 1983).

Gleichwohl konnte bislang kein direkter Zusammenhang zwischen einem Restaurationsmaterial und einer Parodontitis festgestellt werden. In vergleichenden Studien fanden sich keine Unterschiede hinsichtlich verschiedener Restaurationsmaterialien und einer gingivalen Inflammation oder der Taschensondierungstiefen (Marklund et al., 2003; Sailer et al., 2018; Sailer et al., 2009; Tanner et al., 2018; Walter et al., 2001).

## 1.9 Problemstellung

Die Arbeitsgruppe um Patel wertete 2014 in einem Review die methodische Qualität von 182 Studien zum Thema Erfolg und Überleben von Restaurationen aus dem Zeitraum von 2005 bis 2012 aus. Eingeschlossen wurden Studien, die sich mit der Beurteilung von Erfolg, Überleben und Versagen von Kronen, Brücken und *Onlays* beschäftigten. Sie stellte fest, dass nur 47,2 % der Autoren standardisierte Beurteilungskriterien nutzten. Viele definierten häufig nicht einmal ihre Kriterien für Erfolg, Überleben oder Versagen (Patel et al., 2014).

Auch die von der FDI eingesetzte Arbeitsgruppe um Hickel befasste sich mit Empfehlungen zur Durchführung klinischer Studien über die Qualität zahnärztlicher Restaurationsmaterialien. In ihrer Veröffentlichung berichteten die Autoren ebenfalls, dass viele Studien insbesondere im Studiendesign, der Angabe von Methoden und der Anwendung von statistischen Analysen unzureichend seien. Außerdem werden oftmals nicht-standardisierte und nicht-evidenzbasierte Untersuchungsmethoden benutzt (Hickel et al., 2007).

Gerade in der Erfolgsanalyse kann dies das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Je mehr Parameter als Komplikation untersucht werden, desto wahrscheinlicher ist, dass eine Restauration nicht mehr gänzlich komplikationsfrei und damit definitionsgemäß erfolgreich ist. Darüber hinaus erschwert die fehlende Standardisierung den Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien.

Ein Cochrane-Review, das den Erfolg von keramischen Werkstoffen mit den herkömmlichen metallkeramischen bzw. vollmetallischen Materialien vergleicht, kommt gar zu dem Schluss, dass die Qualität der Evidenz sehr gering sei und dass dringend weitere Studien benötigt werden. Bis weitere Ergebnisse vorliegen, sollten sich Zahnärztinnen und Zahnärzte an ihren eigenen klinischen Erfahrungen bei der Materialauswahl orientieren (Poggio et al., 2017).

Auch in den verwendeten parodontologischen Untersuchungsmethoden gibt es große Unterschiede. Oftmals wird nur ein kontralateraler unversorgter Zahn als Kontrollgruppe in der Messung von Taschensondierungstiefe, Rezession und klinischem Attachmentniveau herangezogen, was zu einer starken Ungenauigkeit führen kann (Knoernschild et al., 2000). Die in vielen Studien aus Zeitgründen oft auf zwei Stellen pro Zahn reduzierte Messung kann ebenfalls mit einem großen Messfehler einhergehen (Kingman et al., 2008; Owens et al., 2003). Es fehlt auch hier an standardisierten Studiendesigns, sodass die Vergleichbarkeit mit Literaturergebnissen erschwert ist.

## **2 Ziele der Arbeit**

Ziel dieser retrospektiven klinischen Studie ist es, zu untersuchen, ob der Versorgungstyp Krone oder Brücke oder ob eines der drei Restaurationsmaterialien edelmetallfreie Legierung, edelmetallhaltige Legierung oder Keramik hinsichtlich des klinischen Langzeiterfolgs bessere Ergebnisse zeigt. Dabei soll ein besonderer Schwerpunkt auf der Anwendung standardisierter Beurteilungskriterien und evidenzbasierter Untersuchungsmethoden liegen.

Zunächst sollen die aufgetretenen Komplikationen ausgewertet und mit ihrer Hilfe Erfolgsraten je Versorgungstyp und Restaurationsmaterial berechnet werden. Außerdem soll geklärt werden, welche Faktoren einen Einfluss auf das Auftreten von Komplikationen haben. Die Anwendung der standardisierten USPHS-Kriterien soll eine Vergleichsgrundlage zu Literaturergebnissen schaffen.

Darüber hinaus soll die parodontale Situation der Versorgungungen untersucht werden, um herauszufinden, ob sich die Restaurationen hinsichtlich Versorgungstyp und Restaurationsmaterial anhand der Untersuchungsparameter Taschensondierungstiefe, Rezession, klinisches Attachmentlevel und gingivales Entzündungslevel unterscheiden.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Ethikkommission**

Vor Durchführung der retrospektiven klinischen Studie erfolgte die Befürwortung des Ethikantrags durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Studennummer: 4950R, Registrierungs-ID: 2015013141). Die Arbeit wurde nach den Richtlinien der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

#### **3.2 Studiendesign**

Bei der Studie handelt es sich um eine klinisch retrospektive Studie. Alle Untersuchungen erfolgten im Zeitraum von April 2015 bis April 2018 in der Westdeutschen Kieferklinik in Düsseldorf.

In der Studie wurde festsitzender Zahnersatz auf natürlichen Zähnen in drei verschiedenen Gruppen untersucht. Die drei Gruppen entsprachen den Hauptwerkstoffgruppen, aus denen Zahnersatz hergestellt wird. Eine Gruppe umfasste dabei alle Arbeiten, die aus einer edelmetallhaltigen Legierung gefertigt waren. Eine zweite Gruppe beinhaltete edelmetallfreie Legierungen, eine dritte Gruppe schloss alle metallfreien Arbeiten auf der Grundlage eines Keramikgerüsts ein. Jede Arbeit aus den drei Gruppen konnte entweder unverblendet oder keramisch verblendet sein. Jede Untersuchungsgruppe wurde mit 30 Patientinnen und Patienten geplant.

Um eine Vergleichsgruppe zu bilden, betrachteten wir je Patientin und Patient neben den mit festsitzendem Zahnersatz versorgten Zähnen natürliche, unversorgte Zähne. Diese umfassten mindestens einen Molaren, einen Prämolaren und einen Frontzahn je Kiefer und wurden nach der Methode von Ramfjord (Ramfjord, 1959) ausgewählt.

Notiert wurden die Parameter, die der Herstellung der Arbeit als unabhängige Variablen zuzuordnen sind: Eingliederungsdatum, Material und Befestigungsart. Auch die dentalen und parodontalen Parameter der natürlichen Vergleichszähne wurden als unabhängige Variablen untersucht (Tabelle 7).

Außerdem wurden in der Studie die von der Intervention, namentlich der Eingliederung einer Restauration, beeinflussten dentalen, parodontalen und restaurationsbezogenen Parameter der Zähne mit Restaurationen untersucht. Diese Parameter stellen die abhängigen Variablen dar und sind ebenfalls in Tabelle 7 abgebildet.

**Tabelle 7: Studienparameter, unterteilt in unabhängige und abhängige Variablen**

unabhängige Variablen	abhängige Variablen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingliederungsdatum</li> <li>• Material</li> <li>• Befestigungsart</li> <li>• dentale Parameter an natürlichen Vergleichszähnen nach Ramfjord               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zahnstatus und -befund</li> <li>○ Sensibilität</li> </ul> </li> <li>• parodontale Parameter an natürlichen Vergleichszähnen nach Ramfjord               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sulkus-Blutungs-Index</li> <li>○ Taschensondierungstiefe</li> <li>○ Gingivarezession</li> <li>○ Zahnlockerung</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dentale Parameter an versorgten Zähnen               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zahnstatus und -befund</li> <li>○ Sensibilität</li> </ul> </li> <li>• parodontale Parameter an versorgten Zähnen               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sulkus-Blutungs-Index</li> <li>○ Taschensondierungstiefe</li> <li>○ Gingivarezession</li> <li>○ Zahnlockerung</li> </ul> </li> <li>• restaurationsbezogene Parameter               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Materialdefekte</li> <li>○ Randschluss</li> <li>○ Okklusion</li> <li>○ USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries</li> </ul> </li> </ul>

### 3.3 Angaben zu Patientinnen und Patienten

Die in die Studie eingeschlossenen Patientinnen und Patienten wiesen ein Mindestalter von 18 Jahren auf. Das Geschlecht spielte keine Rolle. Die Restaurationen aller Patientinnen und Patienten mussten in der Westdeutschen Kieferklinik angefertigt und eingegliedert worden sein. Vorab wurden spezifische Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Ein- und Ausschlusskriterien der Studie**

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patientinnen und Patienten der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Westdeutschen Kieferklinik</li> <li>• Restauration wurde in der Westdeutschen Kieferklinik angefertigt und eingegliedert</li> <li>• Ausreichend natürliche Zähne (mind. 16, 21, 24, 36, 41 und 44)</li> <li>• Restaurationen mindestens 5 Jahre alt</li> <li>• Mindestalter der Patientinnen und Patienten: 18 Jahre</li> <li>• Einwilligung in die Teilnahme an der Studie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Alio loco</i> hergestellte Restauration</li> <li>• Zahnersatz jünger als 5 Jahre</li> <li>• Fehlende natürliche Vergleichszähne nach Ramfjord</li> <li>• Alter des/der Studienteilnehmenden unter 18 Jahren</li> <li>• fehlender informierter Konsens</li> </ul>

Alle Studienteilnehmende wurden vorab mündlich wie schriftlich über den Hintergrund sowie den Ablauf der Studie und die Freiwilligkeit der Teilnahme aufgeklärt. Das Einverständnis zur Studienteilnahme wurde schriftlich dokumentiert. Es bestand jederzeit die Möglichkeit für Rückfragen sowie Abbruch der Studienteilnahme ohne Nachteile für die Patientinnen und Patienten.

### **3.4 Studienablauf und verwendete Materialien**

#### **3.4.1 Verfahren zur Patientenauswahl**

Die Rekrutierung der Patientinnen und Patienten erfolgte auf Grundlage von Abrechnungsdaten aus dem Patientenbestand der Westdeutschen Kieferklinik sowie aus aktuellen Patientenfällen aus der Ambulanz der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik anhand der vorab spezifisch festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien. Dafür wurde mit Hilfe der zahnärztlichen Verwaltungssoftware EVIDENT (EVIDENT, Bad Kreuznach) nach den Abrechnungspositionen 2200, 2210, 5010, 5000, 20a, 20b, 20c, 91a und 91b gesucht. Es wurde eine zufällige Reihenfolge ausgelost, nach der die Patientinnen und Patienten telefonisch oder bei Nicht-Erreichbarkeit postalisch kontaktiert wurden.

#### **3.4.2 Methoden zur Bestimmung zahnbezogener Parameter**

Um den dentalen Allgemeinzustand der Patientinnen und Patienten zu dokumentieren, wurde die allgemeine Anamnese und der Zahnstatus nach dem WHO-Zahnschema erhoben. Außerdem wurde eine visuelle Untersuchung der Mundschleimhaut durchgeführt. Auf Grundlage dieses Befundes wurden die zu untersuchenden Zähne mit feststehendem Zahnersatz festgelegt.

Um die natürlichen, unversorgten Referenzzähne standardisiert bestimmen zu können, wurde das Schema nach Ramfjord et al. (Ramfjord, 1959) verwendet. Diese sogenannten Ramfjord-Zähne umfassen die Zähne 16, 21, 24, 36, 41 und 44. Fehlt einer dieser Zähne oder ist mit einer Restauration versorgt, ersetzt ihn der mesial oder distal davon stehende Nachbarzahn (Ramfjord, 1959).

Für die Untersuchung des gingivalen Entzündungsniveaus wurde der Sulkus-Blutungs-Index (SBI) nach Mühlemann und Son (Muhlemann et al., 1971) angewendet. Hierbei wurde mit einem stumpfen Parodontometer des Typs PCPUNC 157 (Hu-Friedy, Chicago/Illinois, USA) und einer möglichst gleichmäßigen Sondierungskraft von 0,25N der gingivale Sulkus an jeweils vier Messstellen pro Zahn (mesial-bukkal, mesial-oral, distal-bukkal und distal-oral) in Richtung Papillenspitzen ausgestrichen. Neben der Blutung wird beim SBI auch das klinische Erscheinungsbild der Gingiva mitbeurteilt. Die Einteilung erfolgt in 6 Grade (Tabelle 9).

**Tabelle 9: Bewertungsgrade des Sulkus-Blutungs-Index nach Mühlemann et al., 1971**

Bewertungs-grad	Bewertungskriterium
0	Normal aussehende Gingiva, keine Blutung
1	Normal aussehende Gingiva, Blutung auf Sondierung
2	Entzündlich gerötete Gingiva, Blutung bei Sondierung
3	Wie Grad 2, zusätzlich leichte Gingivaschwellung
4	Wie Grad 2, zusätzlich starke Gingivaschwellung
5	Wie Grad 2, zusätzlich Spontanblutung und ggf. Ulzeration

Der SBI wird berechnet als Quotient der Summe der einzelnen Grade bezogen auf die Gesamtanzahl der Einzelmessungen (Muhlemann et al., 1971).

Um die Taschensondierungstiefe der in die Studie eingeschlossenen Zähne zu messen, kam das computergestützte System Florida Probe (Florida Probe Corporation, Gainesville, USA) zum Einsatz. Zur Steigerung der Messgenauigkeit wird bei diesem System die Sonde in den Sulkus eingeführt, sobald jedoch ein Sondendruck von 0,25N überschritten wird, bewegt sich eine an der Sonde platzierte Hülse, die bis auf die Höhe des *Margo Gingivae* vorgeschoben wird. Die so ermittelte Distanz zwischen Sondenspitze und gingivanaher Hülsekannte entspricht der Sulkustiefe. Sie wird elektronisch registriert und an einen Computer an die zugehörige Software FP32 (Florida Probe Corporation, Gainesville, USA) übertragen (Gibbs et al., 1988). Die Messung erfolgte an sechs Stelle pro Zahn (mesial-bukkal, bukkal, distal-bukkal, mesial-oral, oral, distal-oral).

Für die Messung der Gingiva-Rezession der inkludierten Zähne wurde mit einem Parodontometer des Typs PCPUNC 157 (Hu-Friedy, Chicago/Illinois, USA) die Distanz von der Schmelz-Zement-Grenze bis zum *Margo Gingivae* jeweils bukkal und oral vermessen.

Zur Registrierung der Zahnlockerung wurde das Gerät Periotest (Medizintechnik Gulden, Modautal, Deutschland) benutzt. Im Vergleich zur herkömmlichen, manuellen Messung der Zahnlockerung durch den Behandler, die eine schlechte Reproduzierbarkeit aufweist, liefert dieses Verfahren deutlich genauere und behandlerunabhängigere Messergebnisse (Berthold et al., 2010; Laster et al., 1975). Bei diesem Verfahren perkutiert ein elektrisch getriebener Stößel den Zahn sechzehnmal in vier Sekunden. Durch den drucksensitiven Kopf des Stößels wird die Kontaktzeit zwischen Zahn und Stößel gemessen. Die Kontaktzeit korreliert dabei mit der Zahnbeweglichkeit. Je lockerer ein Zahn ist, desto stärker wird er ausgelenkt und desto länger ist dabei die Kontaktzeit zum Stößel. Da die Messung stark von Abstand und Winkel des Stößels zum Zahn abhängt, überwacht das Gerät jeden Einzelimpuls und stellt sie mit einem akustischen Signal dar. Fehlerhafte Messwerte werden automatisch eliminiert. Die Messwerte wurden sowohl in der Periotest-Skalierung gespeichert als auch

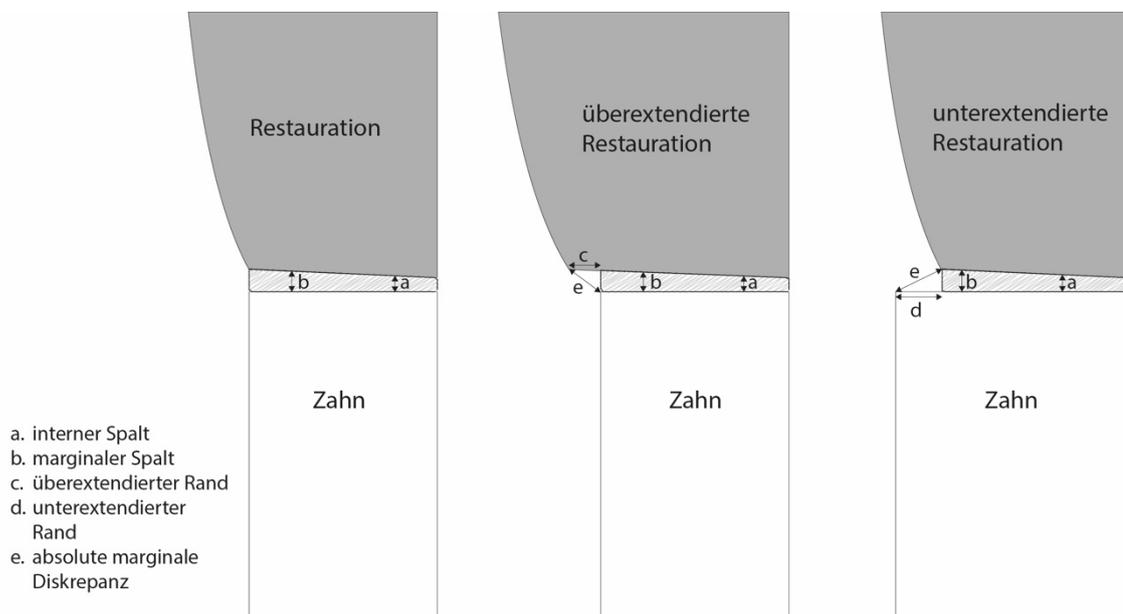
in die Klassifizierung der Zahnlockerung nach Miller (Miller et al., 1938) umgerechnet (Schulte et al., 1991).

Um die Pulpavitalität der untersuchten Zähne zu bestimmen, führten wir eine Sensibilitätsprobe an nicht-endodontologisch behandelten Zähnen durch. Das Kältespray POLAR Kältespray (Unigloves, Troisdorf-Spich, Deutschland) wurde dafür auf ein Schaumstoffpellet appliziert, welches dann von bukkal oder inzisal an den Zahn geführt wurde. Die Einteilung in den dichotomen Ja/Nein-Wert erfolgte je nach Aussage der Patientinnen und Patienten. Stellte sich ein Zahn als nicht sensibel heraus, wurde dieser Befund durch die erneute Durchführung des Tests mit CO<sub>2</sub>-Schnee verifiziert, da so die Sensitivität des Tests durch die stärkere Kälteeinwirkung deutlich erhöht werden kann (Alghaithy et al., 2017).

### 3.4.3 Methoden zur Bestimmung restaurationsbezogener Parameter

Um den Zustand des Werkstoffs der eingesetzten Arbeiten beurteilen zu können, wurden sie mit Hilfe einer Lupenbrille bei 2,3-facher Vergrößerung visuell untersucht. Dabei wurde insbesondere der Zustand der Keramik auf Defekte wie Abplatzungen, Risse oder *Chipping*-Defekte untersucht. Metallische Anteile wurden auf Korrosionserscheinungen überprüft. Alle Befunde dokumentierten wir auf einem eigens angefertigten Befundbogen (Anhang Abb. 29).

Zur Untersuchung des Randschlusses wurde eine zahnärztliche Häkchensonde EXS17 (Hu-Friedy, Chicago/Illinois, USA) benutzt. Die Restaurationsränder wurden in 1mm-Schritten, mindestens jedoch elfmal pro Seite, zirkulär abgetastet, die Befunde nach dem Schema von Holmes et. al. (Holmes et al., 1989) notiert (Abb. 5).



**Abb. 5: Terminologie des Randschlusses, modifiziert nach Holmes et al., 1989**

Dabei wird unterschieden zwischen der vertikalen und horizontalen Dimension. In der vertikalen Dimension wurde das Vorliegen eines Randspalts als dichotomer ja/nein-Wert erhoben, in der horizontalen Ausdehnung in Form von drei Zuständen: überextendierte Restauration, kein Extensionsfehler und unterextendierte Restauration (+/0/-). Dokumentiert wurde jeweils der

ausgeprägteste Befund pro Zahnfläche, also jeweils mesial, distal, bukkal und oral (Holmes et al., 1989). Wurde während der Untersuchung eine Sekundärkaries an einer der Stellen bemerkt, so wurde auch diese separat dokumentiert.

Darüber hinaus wurden die USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries zur Einschätzung des Zustandes der Restauration nach standardisierten und vergleichbaren Kriterien untersucht. Dafür wurden die Restaurationen visuell und mittels einer zahnärztlichen und einer Häkchensonde geprüft. Die Einteilung erfolgte, wie von den Autoren und der FDI beschrieben, je Kriterium in die Stufen „*Range of excellence*“, „*Range of acceptability*“ und „*Replace or correct for prevention*“ (Cvar et al., 2005; Jokstad et al., 2001) (Tabelle 10).

**Tabelle 10: Einteilungsgrade der USPHS-Kriterien nach Cvar et al., 2005**

Bewertungs- grad	Randschluss	anatomische Form	Sekundärkaries
A	kein Randspalt sondierbar	Restauration ist weder über- noch unterkonturiert, korrekte anatomische Form	keine Karies am Kronenrand
B	Randspalt sondierbar, aber kein freiliegendes Dentin	Restauration ist über- oder unterkonturiert, aber kein freiliegendes Dentin	Karies am Kronenrand
C	freiliegendes Dentin, aber Restauration nicht dezementiert oder frakturiert	Dentin bzw. Präparationsrand liegt frei auf Grund von fehlendem Material	
D	Restauration dezementiert, frakturiert oder fehlend		

Für eine Fotodokumentation von Ober- und Unterkiefer sowie der Restaurationen setzten wir nach Trockenlegung Fotospiegel und Wangen- und Lippenhalter (doctorseyes, Ochsenhausen, Deutschland) sowie die Kamera Canon EOS 70D (Canon, Tokyo, Japan) mit dem Makroobjektiv Canon 100 mm f / 2,8 (Canon, Tokyo, Japan) und dem Ringblitz-System Canon MR-14EX II (Canon, Tokyo, Japan) ein. Die Aufnahmen wurden jeweils von bukkal und okklusal angefertigt. Wies eine Restauration während der klinischen Untersuchung eine rechtfertigende Indikation für eine radiologische Untersuchung auf, so wurde eine Zahnfilmaufnahme in Rechtwinkeltechnik angefertigt. Zu den rechtfertigenden Indikationen gehören eine tiefe kariöse Läsion, ausgeprägte Zahnlockerung, Zeichen eines Entzündungsgeschehens oder einer endodontologischen Auffälligkeit (American Dental Association, 2013).

### **3.5 Studienablauf**

Die einmalige Untersuchung im Rahmen der Studie bestand aus insgesamt fünf Schritten. Als erstes wurde zu Beginn der Sitzung den Studienteilnehmenden der Patienten- und Datenschutzaufklärungsbogen ausgehändigt. Nach einem ausführlichen Gespräch über den Ablauf der Untersuchung sowie die verwendeten Materialien und Methoden wurde die Einwilligung schriftlich dokumentiert. Im Rahmen der Aufklärung wurde überprüft, ob die Ein- und Ausschlusskriterien erfüllt sind.

Im zweiten Schritt erfolgte die Erhebung der dentalen und parodontalen Parameter. Nach der Dokumentation der allgemeinen Anamnese und des Zahnstatus wurden die Ramfjord-Zähne und die zu untersuchenden Restaurationen festgelegt. Es folgte die Messung der parodontalen Befunde Sulkus-Blutungs-Index, Taschensondierungstiefe, Gingivarezession und Zahnlockerung sowie der Zahnsensibilität.

Im dritten Schritt wurden die Restaurationen mittels einer professionellen Zahnreinigung gesäubert, um sie einer eingehenden Untersuchung zugänglich zu machen. Dieser Schritt erfolgte nur wenn die Restaurationen mit Belägen oder Zahnstein bedeckt und somit schlecht beurteilbar waren.

Der darauffolgende vierte Teil der Untersuchung diente der Bestimmung der restaurationsbezogenen Parameter. Im Zuge der visuellen Inspektion mittels Lupenbrille wurden Materialdefekte wie Keramikabplatzungen, Korrosionserscheinungen oder Materialfrakturen befundet und in einem Datenblatt dokumentiert. Anschließend wurde der Randschluss des Zahnersatzes untersucht und ebenfalls in einem Datenblatt dokumentiert. Darüber hinaus wurde jede Restauration hinsichtlich der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries beurteilt und die Ergebnisse ebenfalls notiert.

Der fünfte und letzte Teil der Untersuchung beinhaltete die fotografische Dokumentation der Restaurationen sowie gegebenenfalls eine röntgenologische Untersuchung bei gegebener klinischer Indikation.

Die gesamte Untersuchung dauerte ungefähr 60 - 90 Minuten.

Im Anschluss an die Untersuchung wurden anhand der Patientenakte, sofern verfügbar, Daten zum Alter der Restauration, Material, Art des Befestigungszements sowie der präprothetischen Versorgung, insbesondere einer möglichen endodontischen Vorbehandlung, recherchiert.

### **3.6 Datenauswertung**

Alle erhobenen Daten wurden in einer eigens für die Studie entwickelten Datenbank der Software Microsoft Access 2010 (Microsoft, Redmond, USA) gespeichert. Auch die Daten der elektronischen Messung der Taschensondierungstiefen mit dem Florida Probe System wurden aus der dazugehörigen Software FP32 in diese Datenbank übertragen. Der komplette Datensatz wurde anschließend in die Software Microsoft Excel (Version 16,

Microsoft, Redmond, USA) exportiert und von dort aus an die Statistik-Software SPSS Statistics (Version 26, IBM, Armonk, USA) übergeben.

Die auftretenden Komplikationen wurden restaurationsbezogen erfasst. Dabei konnten mehrere Restaurationen pro Patient und mehrere Komplikationen pro Restauration vorliegen. Die in unserer Studie untersuchten Komplikationen waren Korrosion, Verblendfraktur, Gerüstfraktur, Dezementierung und Sekundärkaries. Anders als andere Autoren wurden Parodontitis und Gingivitis nicht als Komplikationen miteinbezogen, da es sehr schwer ist, einen Schwellenwert zu definieren, ab wann Veränderung der Gingiva bzw. des Parodonts als Komplikation gelten, vor allem da Vergleichsdaten zum Zeitpunkt vor der Eingliederung der Restaurationen nicht vorlagen. Die parodontalen und gingivalen Befunde wurden aus diesem Grund separat ausgewertet und mit natürlichen Zähnen als Referenzwert verglichen.

Aus der Differenz zwischen Untersuchungsdatum und Eingliederungsdatum wurde die Tragezeit errechnet. Neben der mittleren und medianen Tragezeit verwendeten wir auch die Gesamtexpositionszeit TET. Hierfür wurde die Gesamtexpositionszeit aller untersuchten Restaurationen je Gruppe summiert. Die jährliche Komplikationsrate AFR ergab sich anschließend aus der Anzahl der Komplikationsereignisse pro Gesamtexpositionszeit.

Zur Auswertung der parodontalen Befunde wurden zunächst die Mittelwerte der Parameter Taschensondierungstiefe, Rezession, klinisches Attachmentlevel (CAL) und Sulkus-Blutungs-Index unterteilt nach Restaurationen und natürlichen Vergleichszähnen je Patient gebildet. Darüber hinaus wurde für jede Restauration die Differenz zwischen dem Mittelwert der an der Restauration gemessenen Taschensondierungstiefen (TST), der Rezession, des CAL und des SBI und dem jeweiligen Mittelwert der natürlichen Vergleichszähne gebildet.

### **3.7 Statistische Auswertungsverfahren**

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Software SPSS Statistics (Version 26, IBM, Armonk, USA).

#### **3.7.1 Auswertung restaurationsbezogener Parameter**

Zum Vergleich der Anzahl der Komplikationsereignisse bezogen auf die Versorgungsart und das Restaurationsmaterial nutzten wir den Chi-Quadrat-Test und die Berechnung der *Odds Ratios*. Diese Tests wurden verwendet, da es sich bei der Anzahl der Komplikationen, dem Versorgungstyp und dem Restaurationsmaterial um nominalskalierte, nicht-normalverteilte Variablen handelt. Für den Chi-Quadrat-Test wurde, ausgehend von der Nullhypothese, dass die beobachtete und erwartete Häufigkeit identisch sind, von einem signifikanten Zusammenhang ausgegangen, wenn mindestens  $p < 0,05$  ist. Als Effektstärkemaß wurde Cramers V berichtet.

Stellte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen zwei Variablen heraus, so errechneten wir zusätzlich die *Odds Ratio* als Quotenverhältnis. Als Nullhypothese dieses Tests wurde angenommen, dass kein Zusammenhang besteht. Ergibt sich eine *Odds Ratio* größer oder kleiner als 1 und wird 1 nicht im

95%-Konfidenzintervall eingeschlossen, so besteht ein signifikanter Zusammenhang.

Um den Einfluss von Untersuchungsparametern auf das Auftreten von Komplikationen auszuwerten, nutzten wir die binär logistische Regressionsanalyse. Regressionsanalysen dienen zur Identifikation eines oder mehrerer Prädiktoren zur Vorhersage eines in diesem Fall nominalskalierten Kriteriums. Zunächst wurde mittels eines Omnibus-Tests der Modellkoeffizienten das Modell auf Signifikanz überprüft, anschließend die Güte des Vorhersagemodells mit Hilfe von Nagelkerkes  $R^2$  bestimmt. Für die einzelnen Parameter wurde der Regressionskoeffizient B berechnet und die Parameter wurden auf einen signifikanten Einfluss auf das Modell getestet. Anhand des  $\text{Exp}(B)$ -Wertes ließ sich eine *Odds Ratio* ablesen, die den Einfluss eines Parameters als Quotenverhältnis beschreibt.

Da bei den Dauern bis zum Eintritt einer Komplikation auch zensierte Zeitdauern vorliegen, ist die Berechnung der Erfolgswahrscheinlichkeit mit Hilfe der Kaplan-Meier-Methode das geeignete Verfahren. Wurde bei einer Nachuntersuchung eine Komplikation festgestellt, die in der Patientenakte nicht berichtet wurde, so wurde das Untersuchungsdatum als Endpunkt für das Auftreten der Komplikation angenommen. Als Startpunkt wurde für alle Restaurationen das aus der Patientenakte ermittelte Eingliederungsdatum verwendet. Mit Hilfe der Kaplan-Meier-Analyse lassen sich Erfolgswahrscheinlichkeiten zu beliebigen Zeitpunkten abschätzen. In der vorliegenden Studie wählten wir 5, 10 und 15 Jahre als Vergleichszeitpunkte aus. Dabei markiert der Zeitpunkt 5 Jahre den Beginn der Beobachtung. Folglich ist die Erfolgswahrscheinlichkeit hier immer bei 100 %. Eine Restauration wurde dann als Erfolg gewertet, wenn sie frei von jeglichen Komplikationen war.

Zum Vergleich der Erfolgswahrscheinlichkeit der verschiedenen Restaurationsformen nutzten wir den nicht-parametrischen Log-Rank-Test mit paarweisen, ggf. Bonferroni-korrigierten post-hoc Vergleichen ( $H_0$ : Die Überlebenszeiten sind gleich lang). Da der Log-Rank-Test alle Ereignisse gleich gewichtet, gilt er als konservativster Test und hat sich als Vergleichstest in zahnmedizinischen Studien bewährt.

Um den Effekt des Versorgungstyps Krone oder Brücke auf die Verteilung der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries zu testen, wurden Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt. Dieser Test wurde gewählt, da es sich um eine unabhängige Stichprobe mit Intervallskalierung handelt. Alle Signifikanztests wurden zweiseitig durchgeführt.

Den Einfluss der Restaurationsmaterialien EML, EMFL und Keramik auf die Verteilung der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries untersuchten wir zunächst mit Kruskal-Wallis-Tests, um signifikante Ergebnisse in einer Gruppe zu finden. Bei einem signifikanten Ergebnis wurden paarweise Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Vergleiche mittels Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt.

Als Signifikanzniveau wurde mindestens  $p \leq 0,05$  festgelegt. Alle Signifikanzwerte wurden berechnet.

### 3.7.2 Auswertung parodontaler Parameter

Zur statistischen Auswertung der parodontologischen Untersuchungsparameter Taschensondierungstiefe, Rezession, klinisches Attachmentlevel und Sulkus-Blutungs-Index wurde grundsätzlich unterschieden zwischen natürlichen Zähnen und Restaurationen. Die intervallskalierten Daten wurden zunächst auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilks-Test geprüft. Da alle Daten nicht-normalverteilt waren, wurde der Wilcoxon-Matched-Pairs-Test für abhängige Stichproben benutzt, um die Unterschiede der gebildeten Mittelwerte zwischen natürlichen Vergleichszähnen und Restaurationenzähnen innerhalb der Gruppen auf Signifikanz und anschließend mit der Berechnung der Effektstärke nach Cohen auf die Größe des Effekts zu überprüfen.

Um die Mittelwerte unter Berücksichtigung des Unterschieds zu den natürlichen Zähnen auswerten zu können, bildeten wir für jede Restauration die Differenz zwischen dem Mittelwert der Taschensondierungstiefen, der Rezession und des CAL und dem jeweiligen Mittelwert der natürlichen Vergleichszähne. Diese Differenzergebnisse wurden anschließend anhand der Gruppen „K-B“, „EMFL-EML-Keramik“, „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ ausgewertet. Mit einem Kruskal-Wallis-Test überprüften wir zunächst die gesamte Gruppe auf signifikante Unterschiede. Ergab sich ein signifikanter Unterschied, wurden paarweise Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Tests durchgeführt und mit der Berechnung der Effektstärke nach Cohen auf die Stärke des Effekts überprüft. Auch für die Auswertung des SBI nutzten wir dieses Verfahren.

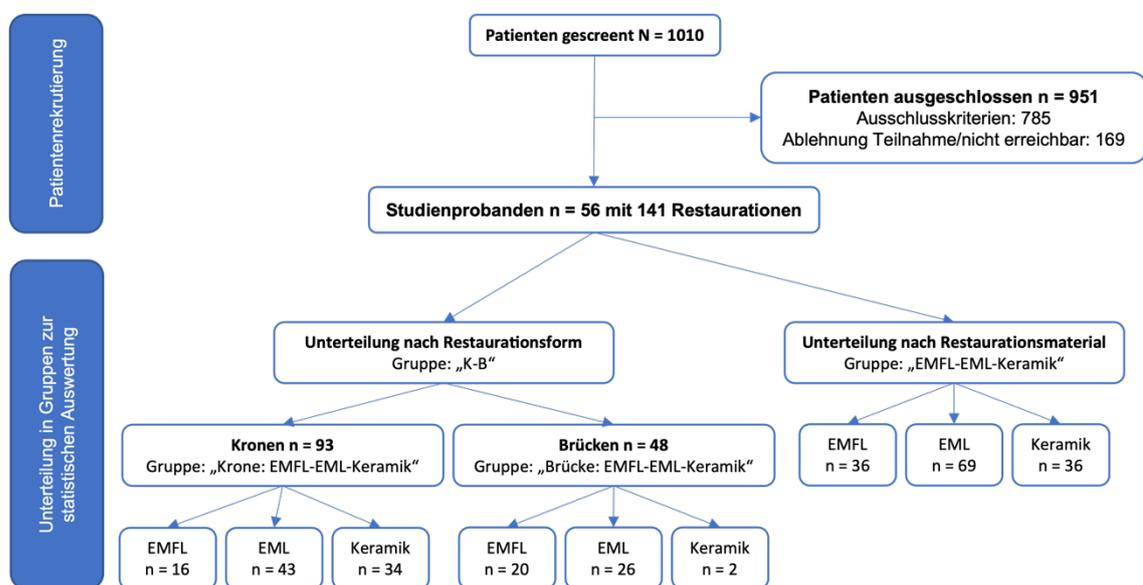
Die Auswirkung von verschiedenen Parametern auf die Variablen TST, CAL und SBI überprüften wir mittels linearer Regressionsmodelle. Anders als die bereits ausgeführten binär logistischen Regressionsmodelle untersucht ein lineares Regressionsmodell den Einfluss von Prädiktoren auf ein intervallskaliertes Kriterium. Auch hier wurde zunächst die Güte des Modells mit Hilfe des  $R^2$  bestimmt und mit einer ANOVA-Analyse getestet, ob  $R^2$  signifikant größer als 0 ist. Für jeden einzelnen Prädiktor wird anschließend getestet, ob er einen signifikanten Einfluss auf das Kriterium hat. Die Stärke des Einflusses lässt sich anhand des standardisierten Beta-Koeffizienten ablesen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patientenflow

Mit Hilfe der elektronischen Abrechnungsdaten wurden 1010 Patientinnen und Patienten ermittelt, bei denen Restaurationen in Form von Kronen oder Brücken angefertigt wurden, die zum Zeitpunkt der Abfrage älter als 5 Jahre waren. Die Abrechnungsdaten konnten dabei bis ins Jahr 2003, dem Jahr der Umstellung auf die elektronische Abrechnung, zurückverfolgt werden.

Anhand der Patientenakten überprüften wir die Ein- und Ausschlusskriterien. 785 Patientinnen und Patienten wurden auf Grund zu geringer natürlicher Restbezaugung ausgeschlossen. 225 Patientinnen und Patienten wurden für eine Studienteilnahme vorgesehen.



**Abb. 6: Patientenflow und Gruppenbildung.** Einteilung in Untergruppen zur statistischen Auswertung. K = Krone, B = Brücke, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung

169 Patientinnen und Patienten wurden nicht erreicht oder lehnten eine Teilnahme ab. Im Laufe der Rekrutierung zeigte sich, dass nur ein deutlich kleinerer Anteil aller Arbeiten aus Keramik und einer EMFL als aus einer EML hergestellt wurde. Daraus ergaben sich vor allem für die Keramikgruppe Schwierigkeiten bei der Patientenrekrutierung, die sich infolgedessen über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren zog.

Aus dem schlussendlich resultierenden Patientenkollektiv mit  $n = 56$  Patientinnen und Patienten ergaben sich 141 Restaurationen mit Kronen und Brücken auf natürlichen Zähnen. Bei der Auswertung der Keramikrestaurationen zeigte sich, dass in den Patientenakten als Material lediglich "Keramik" angegeben war. Somit konnte keine Differenzierung der Arbeiten in die verschiedenen Keramikarten erfolgen.

Die Gruppeneinteilung erfolgte wie in Abb. 6 dargestellt.

Die Kronen und Brücken wurden für die Auswertung im ersten Schritt einerseits unterteilt nach den Restaurationsformen Einzelkronen und Brücken in die Gruppe „K-B“ mit 93 Kronen und 48 Brücken, und andererseits nach dem Restaurationsmaterial ohne Differenzierung der Restaurationsform in die Gruppe „EMFL- EML -Keramik“ mit 36 EMF-, 69 EM- und 36 Keramikrestorationen.

Die Gruppe der Brücken wurde nicht weiter in Endpfeilerbrücken und Extensionsbrücken differenziert, da die Extensionsbrücken-Gruppe mit  $n = 8$  für die statistische Auswertung zu klein war.

Im zweiten Schritt wurden Kronen und Brücken für eine detailliertere Auswertung jeweils nach dem Material in die Untergruppen „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL- EML-Keramik“ unterteilt.

Bei allen Patientinnen und Patienten konnten sämtliche für die Studie notwendigen Daten erhoben werden, sodass es zu keinem *Drop-Out*-Ereignis kam.

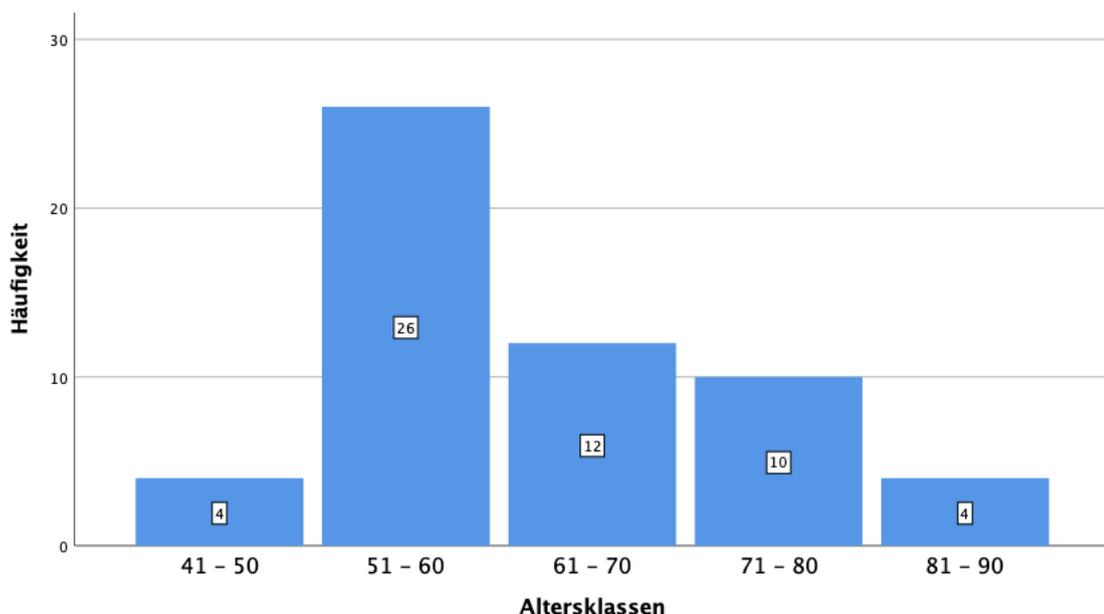
## 4.2 Charakteristika der Patientinnen und Patienten

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung lag bei 62,2 Jahren, der Medianwert bei 59,5 Jahren. Der jüngste Patient war 41 Jahre, der älteste Studienteilnehmer 83 Jahre alt (Tabelle 11). Die Altersstruktur der Patientinnen und Patienten mit einer Kronen- bzw. Brückenversorgung unterschied sich nicht.

**Tabelle 11: Deskriptive Statistik des Patientenalters in der Totalstichprobe, insgesamt n = 56 Patientinnen und Patienten mit n = 42 Kronen und n = 34 Brücken**

	Patientenalter bei Untersuchung (in Jahren)		
	Gesamt	Kronen	Brücken
Mittelwert	62,23	62,27	62,10
Median	59,68	59,90	57,82
Minimum	41	41,28	44,05
Maximum	83	83,15	81,70

Zur besseren Darstellung der Altersstruktur teilten wir die Patientinnen und Patienten in die Altersklassen 40 bis 50 Jahre, 51 bis 60 Jahre, 61 bis 70 Jahre, 71 bis 80 Jahre und 81 bis 90 Jahre ein. Wie in Abb. 7 ersichtlich, machte die Altersklasse der 51 bis 60 Jahre alten Probandinnen und Probanden mit 46,4 % (= 26/56) den größten Anteil aus.



**Abb. 7: Verteilung der Altersklasse in der Totalstichprobe (n = 56).**

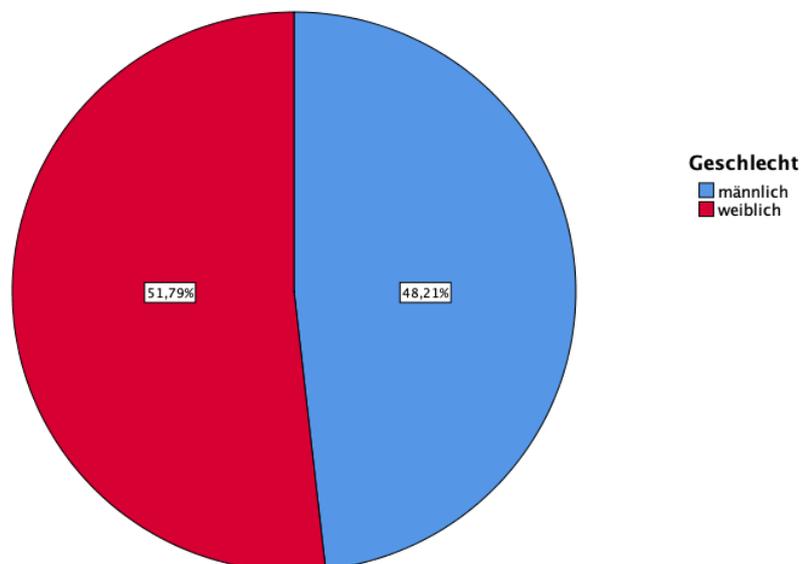
Tabelle 12 zeigt die Verteilung des Patientenalters in den verschiedenen Gruppen. Patientinnen und Patienten der EMFL-Gruppe waren im Median etwas jünger, die der Keramikgruppe bei den Brücken auf Grund des geringen Umfangs von nur zwei Patientinnen und Patienten deutlich älter. Ansonsten ergab sich eine homogene Altersstruktur.

**Tabelle 12: Verteilung des Patientenalters unterteilt nach Versorgungsform und Restaurationmaterial**

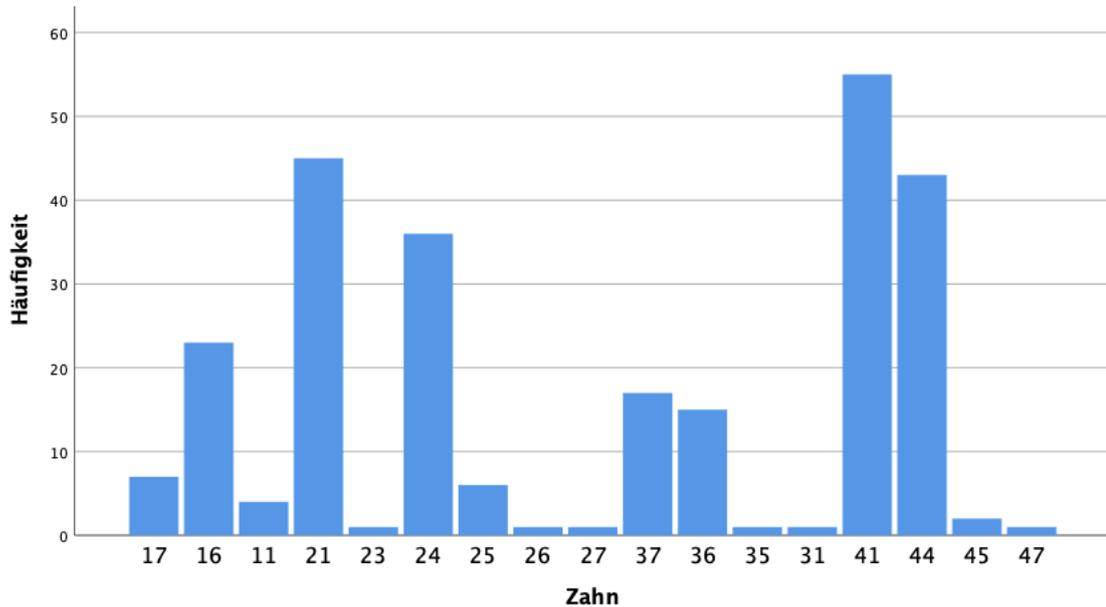
		Anzahl n	Patientenalter bei der Untersuchung (in Jahren)				
			MW	MD	SD	Min	Max
Krone	EMFL	16	59,92	56,72	13,53	44,05	83,15
	EML	43	60,51	58,21	8,84	48,59	81,70
	Keramik	34	62,74	63,22	8,90	41,28	77,84
	Gesamt	93	61,22	59,92	9,76	41,28	83,15
Brücke	EMFL	20	59,90	55,55	10,59	44,05	78,63
	EML	26	62,87	57,67	9,98	52,86	81,70
	Keramik	2	71,38	71,38	13,30	61,97	80,79
	Gesamt	48	61,99	57,57	10,40	44,05	81,70
Gesamt	EMFL	36	59,91	55,55	11,81	44,05	83,15
	EML	69	61,40	58,21	9,29	48,59	81,70
	Keramik	36	63,22	63,22	9,15	41,28	80,79
	Gesamt	141	61,48	59,47	9,95	41,28	83,15

MW = Mittelwert, MD = Median, SD = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung

Abb. 8 zeigt die Geschlechtsverteilung des Probandenkollektives. Es bestand aus 29 Frauen (51,8 %) und 27 Männern (48,2 %).



**Abb. 8: Geschlechtsverteilung in der Totalstichprobe (N = 56; weiblich = 29, männlich = 27)**



**Abb. 9: Verteilung der Ramfjord-Zähne (n = 256).**

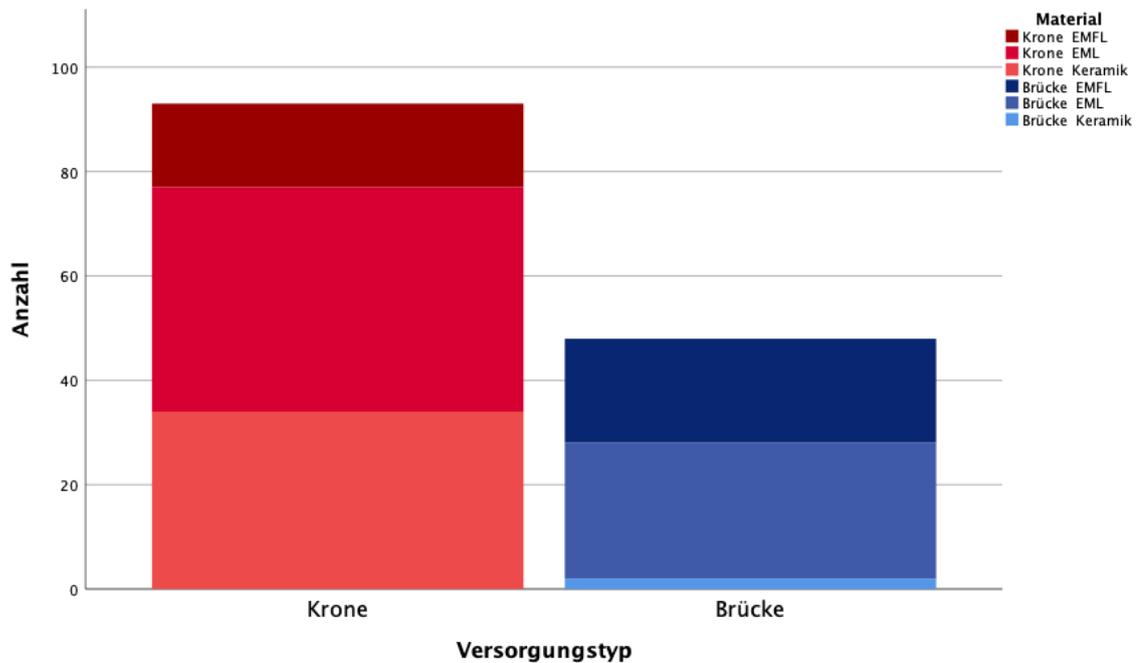
Zur Auswahl der natürlichen Vergleichszähne wurde das Schema von Ramfjord angewendet. Insgesamt untersuchten wir im Verlauf der Studie 256 Ramfjord-Zähne. Die Zähne verteilten sich gleichmäßig über den Ober- und den Unterkiefer, wie in Abb. 9 dargestellt. Die häufigsten Ramfjord-Zähne waren der Zahn 41 (21,5 % = 55/256), Zahn 21 (17,2 % = 44/256) und Zahn 44 (16,8 % = 43/256).

### 4.3 Charakteristika der Restaurationen

Anschließend wurden die in die Studie eingeschlossenen Restaurationen identifiziert. Insgesamt lagen bei den Probandinnen und Probanden 141 Restaurationen vor. Diese unterteilen sich in 93 Einzelkronen und 48 Brücken. Tabelle 35 im Anhang fasst die wesentlichen Charakteristika der untersuchten Restaurationen zusammen.

#### 4.3.1 Gerüstmaterialien

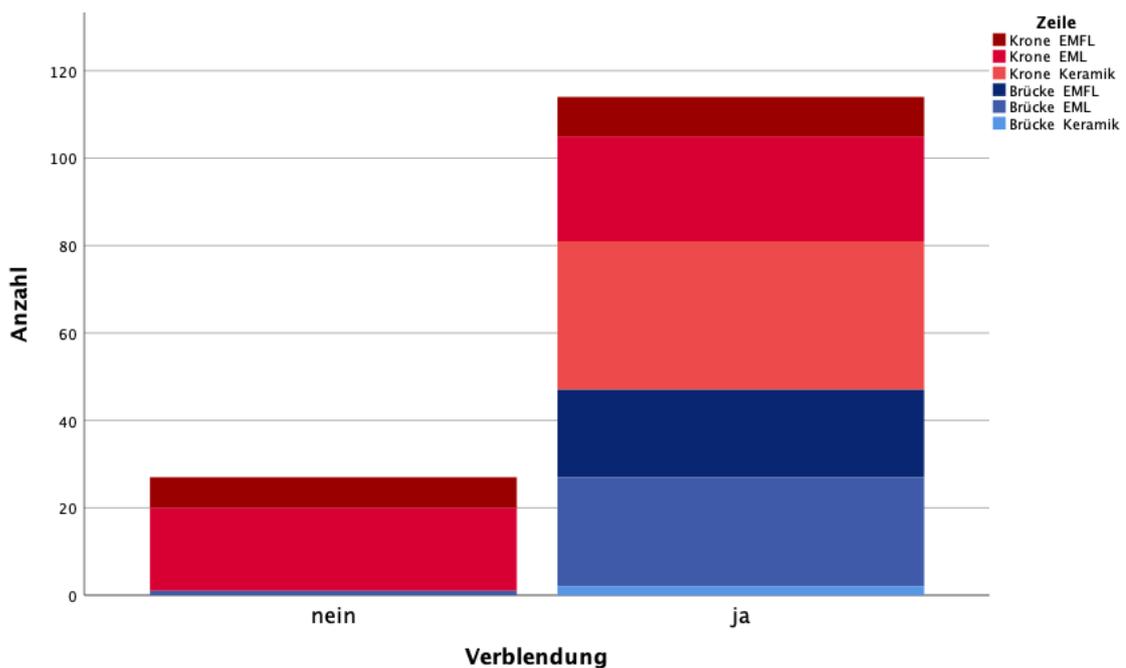
Das Gerüstmaterial aller Arbeiten bestand in 36 Fällen aus einer EMFL, in 69 Fällen aus einer EML und in 36 Fällen aus Keramik. Betrachtet man das Gerüstmaterial in Abhängigkeit des Versorgungstyps, so zeigte sich, dass im Patientenkollektiv nur zwei Brücken aus Keramik vorlagen. Der überwiegende Teil der Brücken wurde aus einer EML (54,2 % = 26/48) und einer EMFL (41,7 % = 20/48) angefertigt. Bei den Einzelkronen zeigte sich ein anderes Bild. Hier fanden sich mehr keramische (36,6 % = 34/93) als EMF-Kronen (17,2 % = 16/93). Einzelkronen aus einer EM-Legierung machten auch hier die größte Gruppe aus (45,7 % = 43/93) (Abb. 10).



**Abb. 10: Gerüstmaterialien der Restaurationen (n = 141) unterteilt nach Versorgungstyp und -material.** Dargestellt sind die Gerüstmaterialien der Kronen (n = 93) und Brücken (n = 48). EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

### 4.3.2 Verblendung

Der größte Teil der Restaurationen war verblendet (80,6 % = 114/141). Von den EMF-Arbeiten waren 19,4 % (= 7/36) unverblendet, bei den EM-Arbeiten waren es 29,0 % (= 20/69) (Abb. 11). Für die keramischen Restaurationen fanden sich in den Patientenunterlagen keine Angaben zum Material und zu einer Verblendung, sie werden im Folgenden als verblendet gewertet.



**Abb. 11: Verblendungen der Restaurationen (n = 141) unterteilt nach Versorgungstyp und -material.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

### 4.3.3 Region der Versorgungen

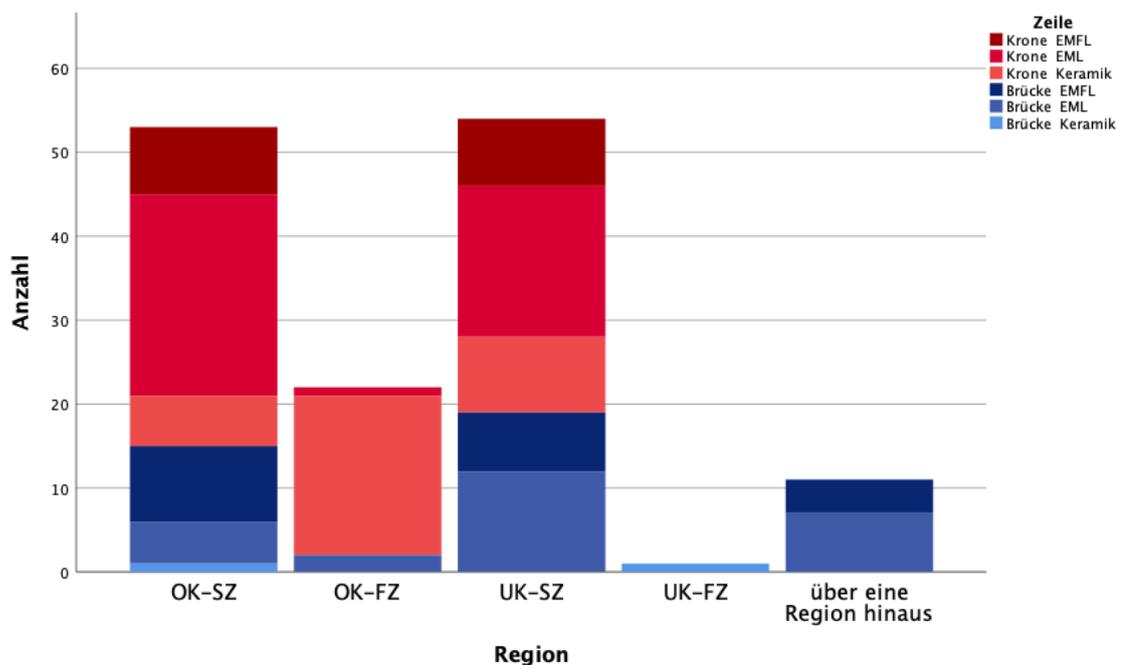
Um die räumliche Verteilung der Restaurationen besser darzustellen, wurden sie je Kiefer in Front- und Seitenzahnregion eingeteilt. Die Frontzahnregion reichte dabei von Eckzahn bis Eckzahn. Tabelle 35 im Anhang und Abb. 12 fassen die Verteilung zusammen.

Insgesamt fand sich nur ein kleiner Teil der untersuchten Arbeiten im Frontzahnbereich (OK-FZ: 15,6 % = 22/141 und UK-FZ: 0,7 % = 1/141). Überwiegend handelte es sich dabei um Keramik-Einzelkronen (82,6 % = 19/23).

Die EMF-Arbeiten verteilten sich bei Kronen und Brücken gleichmäßig über den Seitenzahnbereich. Je acht EMF-Kronen fanden sich im Ober- bzw. Unterkieferseitenzahnbereich, neun Brücken im Oberkieferseitenzahnbereich und sieben Brücken im Bereich der Unterkieferseitenzähne. EMF-Arbeiten im Frontzahnbereich waren in unserem Patientenkollektiv nicht vorhanden.

EM-Restaurationen waren, ähnlich wie EMF-Arbeiten, überwiegend Seitenzahnrestaurationen (97,7 % = 42/43 der EM-Kronen und 65,4 % = 17/26 der EM-Brücken). Lediglich eine Frontzahnkrone und zwei Frontzahnbrücken lagen bei den EM-Restaurationen vor. Sieben EM-Brücken gingen über eine Region hinaus.

Zusammenfassend gilt für unser Patientenkollektiv, dass Keramikrestaurationen vor allem im Oberkiefer-Frontzahnbereich lokalisiert waren und dass es sich weitestgehend um Einzelkronen handelte, wohingegen Restaurationen aus einer EMFL und einer EML vor allem im Seitenzahnbereich zu finden waren.



**Abb. 12: Restaurations-Regionen (n = 141) unterteilt nach Versorgungstyp und -material.** Entscheidend für die Einteilung war die Position der Pfeilerzähne. OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, SZ = Seitenzahnbereich, FZ = Frontzahnbereich, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

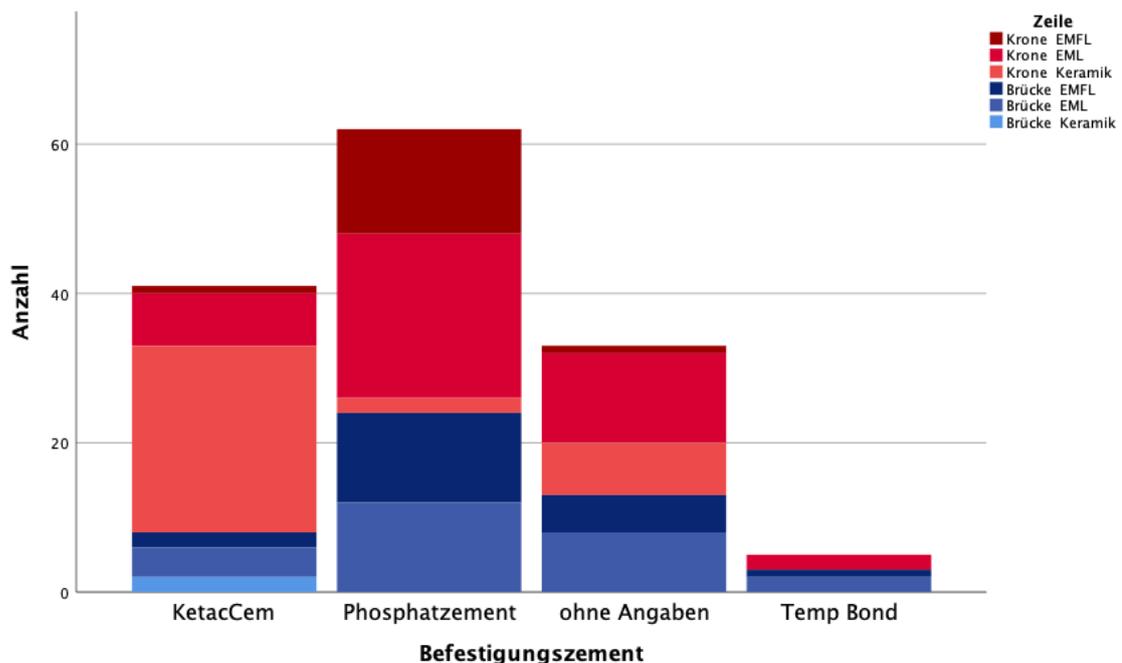
#### 4.3.4 Befestigungsart

Anhand der Karteikarteneinträge wurden die Befestigungsarten der Restaurationen bestimmt (Tabelle 35 Anhang). Von den insgesamt 141 Restaurationen wurden 29,1 % (= 41/141) mit KetacCem, 44,0 % (= 62/141) mit Phosphatzement und 3,5 % (= 5/141) mit TempBond befestigt. Bei rund einem Viertel der Restaurationen (23,4 % = 33/141) lagen keine Angaben in den Patientenakten vor.

Abb. 13 stellt die Befestigungsart in Abhängigkeit der Versorgungsart und des Materials dar. Hierbei fällt auf, dass Keramikversorgungen vor allem mit KetacCem (75,0 % = 27/36) eingegliedert wurden. Eine adhäsive Befestigung wurde nicht beobachtet. Die EMF- und EM-Restaurationen waren vor allem mit Phosphatzement befestigt (49,3 % = 34/69 der EM- und 72,2 % = 26/36 der EMF-Restaurationen).

Bezogen auf die Versorgungsart lässt sich beobachten, dass bei den Brücken die Hälfte aller Restaurationen (50,0 % = 24/48) mit Phosphatzement, gefolgt von KetacCem (16,7 % = 8/48) eingegliedert wurde. Bei den Kronen stellte sich diese Verteilung etwas ausgeglichener dar. Auch hier nutzten die Zahnärztinnen und Zahnärzte bei einem Großteil der Arbeiten Phosphatzement (40,9 % = 38/93), gefolgt von KetacCem (35,5 % = 33/93).

In unserer Studie wurde somit ein Großteil der Keramikversorgungen mittels KetacCem eingegliedert. EMF- und EM-Restaurationen wurden hingegen bevorzugt mit Phosphatzement auf dem Zahnstumpf befestigt.

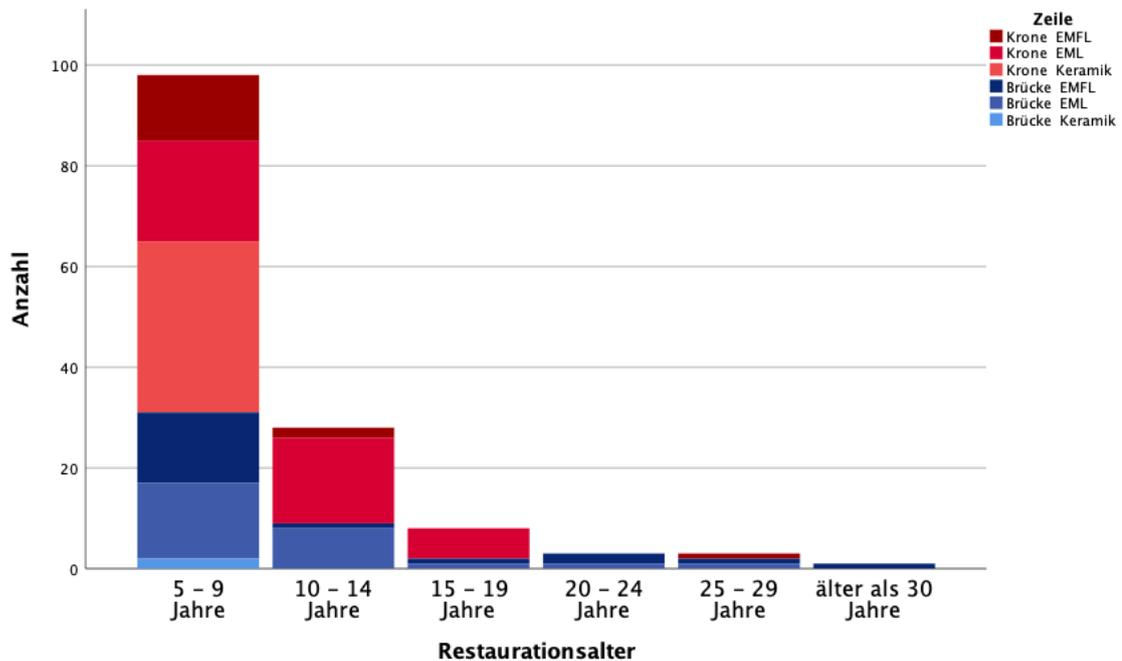


**Abb. 13: Befestigungszement der Restaurationen (n = 141) unterteilt nach Versorgungstyp und -material.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

#### 4.3.5 Restaurationsalter

Zur einfacheren Darstellung wurden die Restaurationsalter zum Zeitpunkt der Untersuchung in die Intervalle 5 bis 9 Jahre, 10 bis 14 Jahre, 15 bis 19 Jahre, 20 bis 24 Jahre, 25 bis 29 Jahre und älter als 30 Jahre eingeteilt.

Der Großteil der Restaurationen fand sich im Abschnitt 5 bis 9 Jahre (69,5 % = 98/141), gefolgt vom Abschnitt 10 bis 14 Jahre (19,9 % = 28/141) und 15 bis 19 Jahre (5,7 % = 8/141). In den Abschnitten darüber waren nur noch sehr wenige Restaurationen vorhanden (Abb. 14 und Tabelle 35 im Anhang).



**Abb. 14: Restaurationsalter (n = 141) unterteilt nach Versorgungstyp und -material.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Alle 36 Keramikrestaurationen waren 5 bis 9 Jahre alt. Für die Restaurationsmaterialien EMFL und EML wich die Verteilung leicht voneinander ab. Während 75,0 % (= 27/36) der EMFL-Restaurationen in den Abschnitt 5 bis 9 Jahre und nur wenige (8,3 % = 3/36) in den Abschnitt 10 bis 14 Jahre fielen, waren es in der Gruppe der EM-Restaurationen 50,7 % (= 35/69) im Altersabschnitt 5 bis 9 Jahre und 36,2 % (= 25/69) im Abschnitt 10 bis 14 Jahre. Auch in der Gruppe der 15 bis 19 Jahre alten Restaurationen fanden sich noch einige Fälle (10,1 % = 7/69).

Betrachtet man das Kollektiv unterteilt nach den Versorgungstypen Krone und Brücke, so zeigt sich, dass bei den Kronen insgesamt 72,0 % (= 67/93) der Arbeiten 5 bis 9 Jahre, 20,4 % (= 19/93) 10 bis 14 Jahre und 6,5 % (= 6/93) 15 bis 19 Jahre alt waren. Nur eine Arbeit war älter als 20 Jahre.

Etwas anders stellte sich die Verteilung bei den Brücken dar. Hier waren 64,4 % (= 31/48) Arbeiten 5 bis 9 Jahre alt, 18,8 % (= 9/48) 10 bis 14 Jahre alt und 4,2 % (= 2/48) 15 bis 19 Jahre alt. Auch in den Gruppen 20 bis 24 Jahre (6,3 % = 3/48), 25 bis 29 Jahre (4,2 % = 2/48) und über 30 Jahre (2,1 % = 1/48) fanden sich hier noch Restaurationen.

Tabelle 13 zeigt das mittlere und das mediane, das minimale sowie maximale Restaurationsalter sowie die TET der verschiedenen Gruppen. Dabei ergab sich eine ungleichmäßige Verteilung. EM-Restaurationen waren im Median etwa 2,7 Jahre älter als EMF-Restaurationen. Insbesondere bei den Einzelkronen war diese Differenz mit fast 5 Jahren besonders ausgeprägt. Keramikrestaurationen hingegen waren sowohl im Mittelwert als auch im Median deutlich jünger als die EMF- und EM-Arbeiten. Darüber hinaus waren die Keramikrestaurationen unseres Probandenkollektivs maximal 9,16 Jahre alt, während es bei den EMF- und EM-Restaurationen bis um die 30 Jahre waren. Auch in der TET zeigten sich große Unterschiede. Diese waren vor allem auf die verschiedenen Gruppengrößen zurückzuführen.

**Tabelle 13: Alter der Restaurationen unterteilt nach Versorgungsform und Restaurationsmaterial**

		n	Restaurationsalter (in Jahren)					TET
			MW	MD	SD	Min	Max	
Krone	EMFL	16	8,13	6,04	4,96	5,14	25,23	130
	EML	43	10,72	10,95	4,01	5,40	18,34	461
	Keramik	34	7,20	7,50	1,21	5,24	9,16	245
	Gesamt	93	8,99	8,02	3,82	5,14	25,23	836
Brücke	EMFL	20	11,22	6,77	8,21	5,14	30,84	224
	EML	26	10,20	7,97	5,67	5,71	29,95	265
	Keramik	2	6,34	6,34	1,64	5,18	7,50	13
	Gesamt	48	10,47	7,95	6,74	5,14	30,84	502
Gesamt	EMFL	36	9,85	6,41	7,04	5,14	30,84	354
	EML	69	10,53	9,10	4,67	5,40	29,95	726
	Keramik	36	7,16	7,50	1,22	5,18	9,16	258
	Gesamt	141	9,49	8,02	5,03	5,14	30,84	1339

MW = Mittelwert, MD = Median, SD = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum, TET = *total exposure time*, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

#### 4.4 Komplikationsereignisse

Zur Auswertung der abhängigen Variablen betrachteten wir diese zunächst über die Gesamtstichprobe unterteilt nach dem Versorgungstyp Einzelkrone und Brücke in der Gruppe „K-B“ unabhängig vom Material sowie unterteilt nach dem Restaurationsmaterial unabhängig vom Versorgungstyp in der Gruppe „EMFL-EML-Keramik“.

Im zweiten Schritt erfolgte die Auswertung der Versorgungstypen unterteilt nach Material. Dafür wurden die Gruppen „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ gebildet. Eine Patientin bzw. ein Patient konnte in beiden Gruppen vorkommen, wenn er mit Restaurationen beider Versorgungstypen behandelt worden war.

#### 4.4.1 Komplikationen

Zur Analyse der restaurationsbezogenen Parameter wurden im ersten Schritt die Untersuchungsergebnisse der Restaurationen auf Beschädigungen der Keramikverblendung, Korrosion, Dezementierungen und Sekundärkaries herangezogen. Diese Ereignisse fassten wir im zweiten Schritt als Komplikationen zusammen.

Es traten insgesamt 30 Komplikationen auf (Tabelle 14). Verblendfrakturen stellten die häufigste Komplikation dar (60 % = 18/30), gefolgt von Sekundärkaries (26,7 %, 8/30), Korrosion und Dezementierung (je 6,7 % = 2/30). Diese verteilten sich auf 28 Restaurationen. Komplikationen ereigneten sich damit bei 21,3 % (= 28/141) aller Arbeiten.

**Tabelle 14: Verteilung der Ereignisse in der Gesamtstichprobe** (Mehrfachangaben möglich)

	Anzahl Ereignisse		Prozent der Restaurationen mit Ereignissen (n = 28)	Prozent der Gesamtstichprobe (n = 141)
	n	Prozent		
Korrosion	2	6,7 %	7,1 %	1,4 %
Verblendfraktur	18	60,0 %	64,3 %	12,8 %
Dezementierung	2	6,7 %	7,1 %	1,4 %
Sekundärkaries	8	26,7 %	28,6 %	5,7 %
Komplikationen gesamt	30	100,0 %	107,1 %	21,3 %

Der Spalte „Prozent der Restaurationen mit Ereignissen“ liegen die Restaurationen mit Komplikationen zu Grunde. Da mehrere Komplikationen pro Fall auftreten können, kann der Prozentwerte insgesamt über 100% liegen.

Tabelle 36 im Anhang stellt die Verteilung der Ereignisse und Komplikationen auf die Gruppen dar. Es gab einen schwachen, signifikanten Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Komplikationen und dem Versorgungstyp;  $X^2(1) = 11,069$ ,  $p = 0,002$ , Cramers  $V = 0,28$ . Der Versorgungstypus Krone war dabei mit 11,8 % (= 11/93) der Restaurationen seltener von einer Komplikation betroffen als Brücken (35,4 % = 17/48).

Bei Betrachtung der standardisierten Residuen erwies sich insbesondere das häufigere Auftreten von Komplikationen bei Brücken als signifikant ( $p < 0,05$ ). Brücken hatten ein 4,09-fach höheres Risiko für ein Komplikationsereignis als Kronen; OR = 4,09 [95 % CI; 1,72; 9,70].

Komplikationen traten bei den verschiedenen Restaurationsmaterialien ebenfalls unterschiedlich häufig auf. Am häufigsten waren EMF-Arbeiten betroffen (36,1 % = 13/36), gefolgt von EM-Restaurationen (17,4 % = 12/69) und

Keramikrestorationen (8,3 % = 3/36). Hierbei handelte es sich um einen schwachen, signifikanten Zusammenhang;  $X^2(2) = 9,244$ ,  $p = 0,01$ , Cramers  $V = 0,256$ .

Die *Odds Ratio* für das Auftreten einer Komplikation bei EMF-Arbeiten lag 2,69-fach höher als bei EM-Arbeiten (OR = 2,69 [95 % CI; 1,07; 6,76]) und 6,21-fach höher als bei Keramik-Arbeiten (OR = 6,21 [95 % CI; 1,59; 24,39]). Die Auswertung der Materialien unterteilt nach den Versorgungstypen in den Gruppen „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ zeigte hingegen keine signifikanten Unterschiede.

Auch die Berechnung der AFR analog nach Pjetursson (Pjetursson et al., 2007; Pjetursson et al., 2015; Pjetursson et al., 2004) spiegelte diese Unterschiede wider. Die gepoolte jährliche Komplikationsrate für die Komplikationen Korrosion, Dezementierung, Verblendfraktur und Sekundärkaries war für Brücken deutlich höher als für Kronen, und auch die EMF-Restorationen wiesen über alle Gruppen hinweg höhere Komplikationsraten auf (Tabelle 15).

**Tabelle 15: Komplikationsraten (gepoolt Korrosion, Dezementierung, Verblendfraktur und Sekundärkaries) der Restaurationen, unterteilt nach Versorgungsform und Restaurationsmaterial**

		Fälle	Ereignisse	TET	AFR
Krone	EMFL	16	3	130	2,31
	EML	43	5	461	1,08
	Keramik	34	3	245	1,22
	Gesamt	93	11	836	1,32
Brücke	EMFL	20	10	224	4,46
	EML	26	7	265	2,64
	Keramik	2	0	13	0,00
	Gesamt	48	17	502	3,38
Gesamt	EMFL	36	13	354	3,67
	EML	69	12	726	1,65
	Keramik	36	3	258	1,16
	Gesamt	141	28	1339	2,09

TET = *total exposure time* (in Jahren), AFR = *annual failure rate* (in % pro Jahr), EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Die weitere Unterteilung der Komplikationsraten je Komplikationsereignis ist zusammen mit den Charakteristika der Restaurationen in Tabelle 16 und Tabelle 17 dargestellt. Für Kronen zeigte sich, dass die Komplikationen Korrosion und Dezementierung nicht auftraten. Verblendfrakturen traten am häufigsten auf, insbesondere EMF-Kronen zeigten eine deutlich höhere AFR (2,91 % pro Jahr) verglichen zu EML- und Keramikronen. Das Komplikationsereignis Sekundärkaries erreichte für Keramikronen eine geringere AFR (0,41 % pro Jahr) als für EMFL- und EML- Kronen (Tabelle 16).

**Tabelle 16: Komplikationsraten für den Versorgungstyp Krone mit Unterteilung nach Restaurationmaterial und Komplikationsart**

Komplikation/ Ereignis	Fälle	Ereignisse	MW	MD	TET	AFR
Korrosion	59	0	-	-	-	-
Dezementierung	93	0	-	-	-	-
Verblendfraktur	67	7	8,55	7,85	573	1,22
- EMFL	9	2	7,64	6,41	69	2,91
- EML	24	3	10,8	11,3	259	1,16
- Keramik	34	2	7,2	7,5	244	0,82
Sekundärkaries	93	5	8,99	8,02	836	0,60
- EMFL	16	1	8,13	6,04	130	0,77
- EML	43	3	10,72	10,95	461	0,65
- Keramik	34	1	7,2	7,5	245	0,41

Korrosion wurde nur an Restaurationen mit metallischem Anteil untersucht, Verblendfrakturen nur an Restaurationen mit Verblendung, TET = *total exposure time* (in Jahren), AFR = *annual failure rate* (in % pro Jahr), MW = Mittelwert des Restaurationalters (in Jahren), MD = Median des Restaurationalters (in Jahren), EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Auch bei Brücken stellte sich hinsichtlich der Komplikation Sekundärkaries ein ähnliches Bild wie bei Kronen dar (Tabelle 17). EMF-Brücken wiesen die höchste AFR auf (0,89% pro Jahr), während es bei EM-Brücken nur zu einer Sekundärkaries kam (AFR = 0,38 % pro Jahr). Keramikbrücken indes konnten nicht weiter beurteilt werden, da sie auf Grund von nur zwei untersuchten Brücken statistisch nicht auswertbar waren. Es fand sich jeweils eine Korrosion bei EMF- und bei EM-Brücken, woraus sich eine AFR von 0,45 % pro Jahr für die Gruppe EMFL bzw. 0,38% für die Gruppe EML ergab. Dezementierungen zeigten sich nur bei EMF-Brücken (AFR = 0,89 % pro Jahr). Wie auch bei den Kronen waren die häufigsten Komplikationen allerdings Verblendfrakturen. Im Gegensatz zu Kronen traten sie hier allerdings bei EMF- und EM-Brücken gleichermaßen häufig auf (EMFL: AFR = 2,23 % pro Jahr bzw. EML: AFR = 2,43% pro Jahr). Insbesondere bei EM-Brücken war die AFR deutlich höher als bei EM-Kronen.

**Tabelle 17: Komplikationsraten für den Versorgungstyp Brücke mit Unterteilung nach Restaurationsmaterial und Komplikationsart**

Komplikation/ Ereignis	Fälle	Ereignisse	MW	MD	TET	AFR
Korrosion	46	2	10,64	7,95	490	0,41
- EMFL	20	1	11,22	6,77	224	0,45
- EML	26	1	10,2	7,97	265	0,38
Dezementierung	48	2	10,47	7,95	502	0,40
- EMFL	20	2	11,22	6,77	224	0,89
- EML	26	0	10,2	7,97	265	-
- Keramik	2	0	6,34	6,34	13	-
Verblendfraktur	47	11	10,3	7,95	484	2,27
- EMFL	20	5	11,22	6,77	224	2,23
- EML	25	6	9,88	7,95	247	2,43
- Keramik	2	0	6,34	6,34	13	-
Sekundärkaries	48	3	10,47	7,95	502	0,60
- EMFL	20	2	11,22	6,77	224	0,89
- EML	26	1	10,2	7,97	265	0,38
- Keramik	2	0	6,34	6,34	13	-

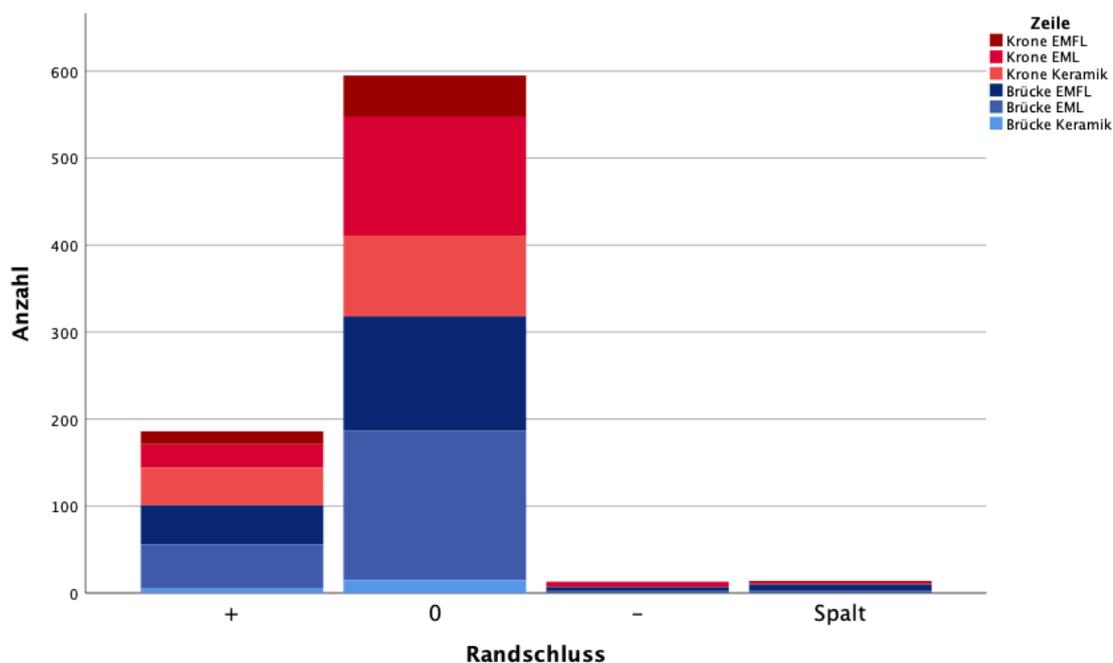
Korrosion wurde nur an Restaurationen mit metallischem Anteil untersucht, Verblendfrakturen nur an Restaurationen mit Verblendung, TET = *total exposure time* (in Jahren), AFR = *annual failure rate* (in % pro Jahr), MW = Mittelwert des Restaurationsalters (in Jahren), MD = Median des Restaurationsalters (in Jahren), EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Zusammenfassend deuten unsere Ergebnisse somit darauf hin, dass Brücken häufiger als Kronen und EMF-Restaurationen häufiger als EM- oder Keramikrestaurationen von Komplikationen betroffen waren. Verblendfrakturen waren gefolgt von Sekundärkaries die häufigsten Komplikationsformen.

#### 4.4.2 Randschluss

Um den Randschluss der Restaurationen zu beurteilen, werteten wir die Ergebnisse der Beurteilung des Randschluss nach Holmes aus.

Die Messung wurde an 202 Pfeilerzähnen von Kronen und Brücken an 808 Stellen durchgeführt. Der Großteil der sondierten Stellen wies dabei einen regelgerecht gestalteten Randbereich auf (73,6 % = 595/808), rund ein Viertel zeigte einen Überhang (23,0 % = 186/808). Ein Unterschuss bzw. ein Randspalt konnte nur in wenigen Fällen beobachtet werden (1,6 % = 13/808 Unterschuss bzw. 1,7 % = 14/808 Randspalt) (Abb. 15).



**Abb. 15: Randschlussmessungen an den 202 Pfeilerzähnen der Kronen und Brücken (n = 808 Messstellen).** Der Randschluss wurde an 4 Stellen pro Pfeilerzahn (mesial, vestibulär, distal und oral) gemessen. „+“ = überextendierte Restauration, „0“ = Restauration ohne Auffälligkeit, „-“ = unterextendierte Restauration, „Spalt“ = Randspalt, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Die Auswertung auf Ebene des Versorgungstyps, wie in Tabelle 37 im Anhang dargestellt, ergab keine signifikanten Unterschiede. Kronen und Brücken zeigten eine ähnliche Verteilung im Randschluss der Restaurationen.

Betrachtet man alle Restaurationen gegliedert nach den drei Materialgruppen in der Gruppe „EMFL-EML-Keramik“, so ergaben sich signifikante Unterschiede. Keramikrestaurationen wiesen im Vergleich zu EM- und EMF-Restauration signifikant ( $p < 0,05$ ) häufiger einen Überhang auf (Keramik: 30,8 % = 48/156 vs. EML: 19,5 % = 78/400 vs. EMFL: 23,8 % = 60/252) und EMF-Restaurationen zeigten signifikant am häufigsten Randspalte ( $p < 0,05$ ) verglichen mit EM- und Keramikrestaurationen (Keramik: 0 % = 0/156 vs. EML: 1,3 % = 5/400 vs. EMFL: 3,6 % = 9/252). Hierbei handelte es sich um einen schwachen, signifikanten Zusammenhang;  $X^2(6) = 18,99$ ,  $p = 0,004$ , Cramers  $V = 0,11$ .

Bei weiterer Auswertung der Materialien nur in der Gruppe der Kronen zeigten sich erneut signifikante Unterschiede. Es gab einen schwachen, signifikanten Zusammenhang zwischen dem Randschluss und dem Material der Einzelkronen;  $X^2(6) = 20,694$ ,  $p = 0,002$ , Cramers  $V = 0,167$ . Keramische Einzelkronen wiesen mit 31,6 % (= 43/136) signifikant die meisten Überhänge auf ( $p < 0,05$ ), EM-Einzelkronen mit 15,7 % (= 27/172) signifikant am wenigsten ( $p < 0,05$ ).

Für Brücken ließen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Materials in Bezug auf den Randschluss finden.

Überhänge traten somit in unserer Untersuchung insbesondere bei Keramikrestaurationen und vor allem bei Keramikkronen, Randspalte hingegen am häufigsten bei EMF-Restaurationen auf.

#### 4.4.3 Einflussfaktoren auf Komplikationen

Um den Einfluss der Parameter Geschlecht, Restaurationsmaterial, Region, Versorgungstyp, Patientenalter und Restaurationsalter auf das Auftreten von Komplikationen zu testen, wurde eine binär logistische Regressionsanalyse durchgeführt.

Die statistischen Ergebnisse der Modellberechnung sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Das Modell erwies sich als signifikant mit einer mittleren Anpassungsgüte ( $R^2 = 0,214$ );  $X^2(9) = 20,453$ ,  $p = 0,015$ . Die Faktoren Keramikrestauration und Brücke hatten einen signifikanten Einfluss auf das Auftreten einer Komplikation. Der Parameter „Keramikrestauration“ senkte das Risiko signifikant auf das 0,15-fache im Vergleich zur EMFL (OR = 0,15 [95 % CI; 0,02; 0,98]), wohingegen das Risiko für den Parameter „Brücke“ verglichen zum Parameter „Krone“ signifikant auf das 3,12-fache anstieg (OR = 3,12 [95 % CI; 1,08; 9,02]). Das Modell spiegelte damit die vorliegenden Ergebnisse wider und zeigte zudem, dass das Restaurationsmaterial und die Versorgungsform die wichtigsten Einflussfaktoren waren. Alle anderen getesteten Faktoren stellten sich, zumindest in unserem Patientenkollektiv und in dem vorliegenden Modell, als nicht signifikant heraus.

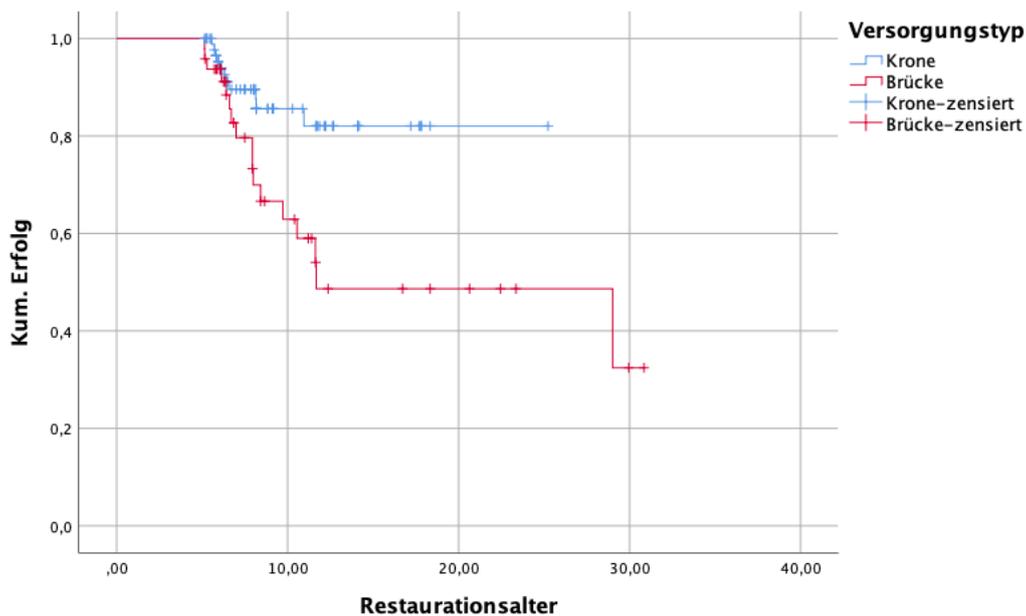
**Tabelle 18: binär logistisch Regressionsanalyse zum Test des Einflusses der Parameter Geschlecht, Restaurationsmaterial, Region, Befestigungszement, Versorgungstyp und Restaurationsalter auf das Auftreten von Komplikationen**

Variable	B	SE B	Wald-Statistik	df	Sig.	Exp(B)	Konfidenzintervall	
							Unterer Wert	Oberer Wert
Restaurationsalter	-0,109	0,057	3,615	1	0,057	0,897	0,802	1,003
Patientenalter	0,009	0,023	0,140	1	0,708	1,009	0,964	1,056
OK-FZ vs. OK-SZ	0,626	0,953	0,432	1	0,511	1,871	0,289	12,118
UK-SZ vs. OK-SZ	-0,066	0,533	0,015	1	0,901	0,936	0,329	2,660
mehr als eine Region vs. OS-SZ	0,055	0,819	0,004	1	0,947	1,056	0,212	5,256
EML vs. EMFL	-0,835	0,520	2,575	1	0,109	0,434	0,156	1,203
<b>Keramik vs. EMFL</b>	<b>-1,914</b>	<b>0,968</b>	<b>3,915</b>	<b>1</b>	<b>0,048</b>	<b>0,147</b>	<b>0,022</b>	<b>0,982</b>
<b>Brücke vs. Krone</b>	<b>1,139</b>	<b>0,541</b>	<b>4,431</b>	<b>1</b>	<b>0,035</b>	<b>3,123</b>	<b>1,082</b>	<b>9,019</b>
Geschlecht	-0,129	0,497	0,068	1	0,795	0,879	0,332	2,327
Konstante	-0,544	1,742	0,098	1	0,755	0,580		

$R^2 = 0,214$ ,  $X^2(9)$  des Modells = 20,453,  $p = 0,015$   
 B = Regressionskoeffizient, SE B = Standardfehler von B, df = Anzahl der Freiheitsgrade, Sig. = Signifikanz, Exp(B) = Odds Ratio der Variablen, OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, FZ = Frontzahnbereich, SZ = Seitenzahnbereich, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben

## 4.5 Erfolgsanalyse

Zur Analyse der Erfolgswahrscheinlichkeiten der Restaurationen im Vergleich führten wir Kaplan-Meier-Analysen durch. Dabei analysierten wir die Dauer bis zum Auftreten einer Komplikation und die Komplikationswahrscheinlichkeiten. Die Gruppen wurden anschließend mit Hilfe von Log Rank-Tests auf signifikante Unterschiede überprüft und in Bonferroni-korrigierten post hoc Tests paarweise verglichen.



**Abb. 16: Zeit bis zum Auftreten einer Komplikation für die Versorgungstypen Krone und Brücke.**

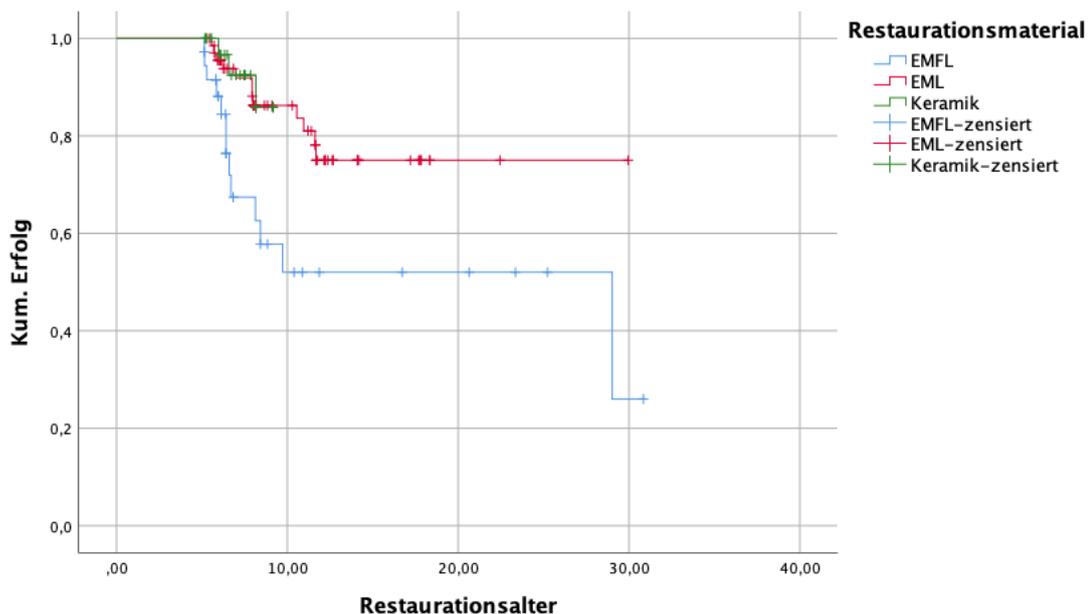
Es gab einen signifikanten Effekt der Art einer Restauration auf die Dauer bis zum Eintreten einer Komplikation; Log Rank  $X^2(1) = 7,435$ ,  $p = 0,006$ . Bei Kronen lag die mittlere Zeit bis zum Auftreten einer Komplikation bei 22,05 Jahren [95 % CI: 20,24; 23,85] und bei Brücken bei 18,99 Jahren [95 % CI: 14,86; 23,12] (Abb. 16). Wie in Tabelle 19 dargestellt, lag die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Komplikation nach 10 Jahren Tragedauer für Brücken mit 37,1 % deutlich höher als bei Kronen mit 14,4 %.

**Tabelle 19: Fallzahlen und Wahrscheinlichkeit für die Komplikationsfreiheit, unterteilt nach Versorgungstyp und Restaurationsmaterial**

		n	Ereignisse	zensierte Fälle	p(K) 5 Jahre	p(K) 6 Jahre	p(K) 10 Jahre
Krone	EMFL	16	3	13	1,000	0,909	0,623
	EML	43	5	38	1,000	0,928	0,901
	Keramik	34	3	31	1,000	0,966	0,856
	Gesamt	93	11	82	1,000	0,940	0,856
Brücke	EMFL	20	10	10	1,000	0,850	0,470
	EML	26	7	19	1,000	1,000	0,760
	Keramik	2	0	2	-	-	-
	Gesamt	48	17	31	1,000	0,937	0,629
Gesamt	EMFL	36	13	23	1,000	0,881	0,520
	EML	69	12	57	1,000	0,955	0,862
	Keramik	36	3	33	1,000	0,967	0,859

p(K) = Wahrscheinlichkeit für die Komplikationsfreiheit, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

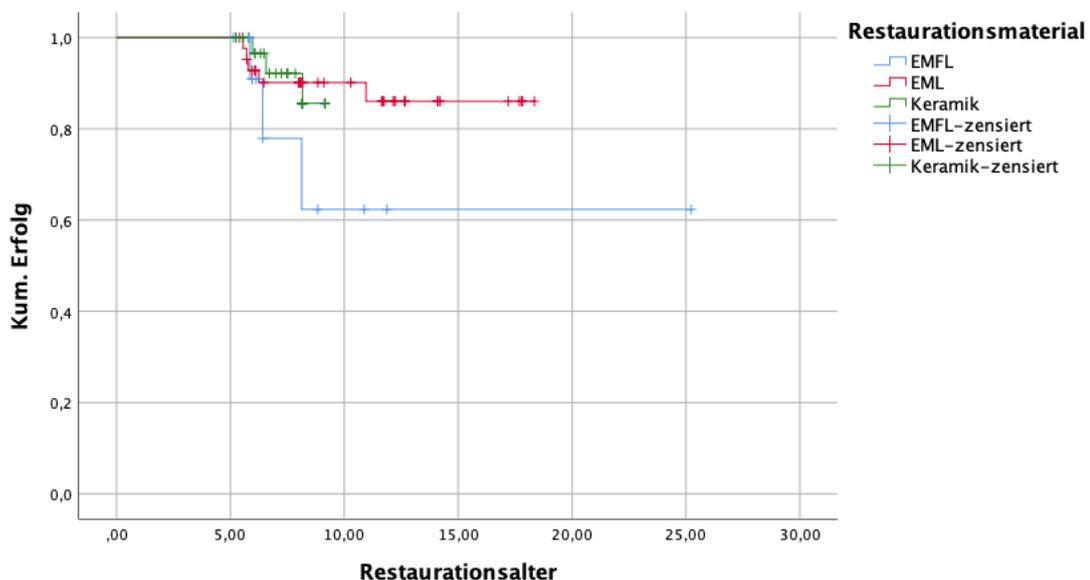
Ähnlich wie der Versorgungstyp zeigte auch das Restaurationsmaterial einen signifikanten Einfluss auf die Zeit bis zum Eintreten einer Komplikation; Log Rank  $X^2(2) = 9,21$ ,  $p = 0,01$  (Abb. 17).



**Abb. 17: Zeit bis zum Auftreten einer Komplikation für die drei Restaurationsmaterialien.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Bei Restaurationen aus einer EML lag die mittlere Zeit bis zum Auftreten einer Komplikation bei 24,67 Jahren [95 % CI: 22,00; 27,34], bei einer EMFL bei 18,90 Jahren [95 % CI: 14,13; 23,67] und bei Keramik bei 8,88 Jahren [95 % CI: 8,57; 9,18]. Die kürzere, mittlere Zeit für die Keramikrestaurationen war dadurch bedingt, dass die älteste beobachtete Keramikrestauration in unserer Studie 9,16 Jahre alt war, wohingegen in der EMF- und EM-Gruppe die ältesten Restaurationen ungefähr 30 Jahre alt waren.

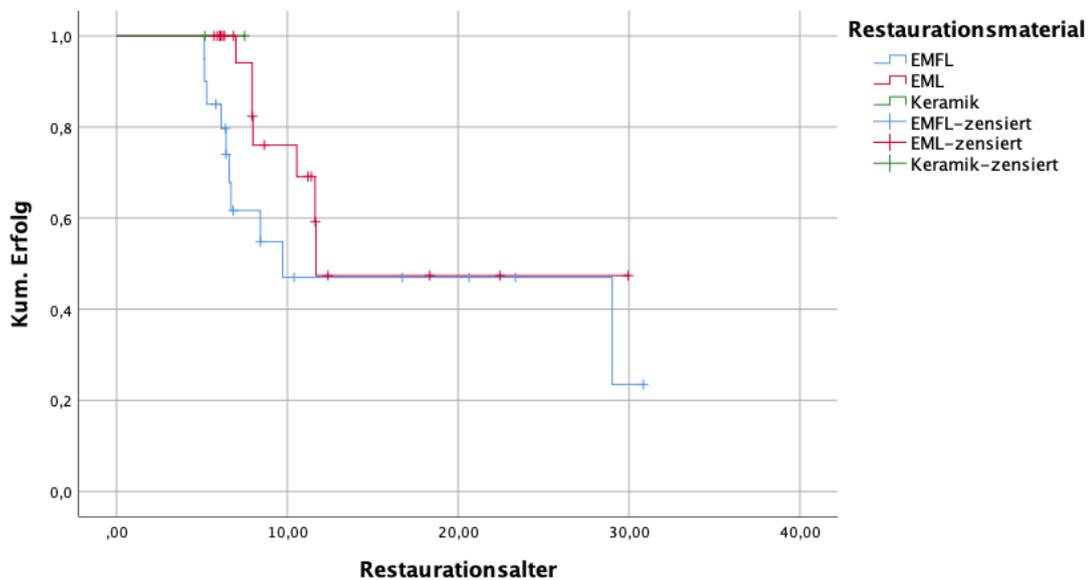
Paarweise post hoc Vergleiche mit Bonferroni-Korrektur zeigten, dass es einen signifikanten Unterschied in der Zeit bis Komplikationseintritt von EM- und EMF-Restaurationen gab; Log Rank  $X^2(1) = 7,34$ ,  $p = 0,021$ . Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Komplikation lag nach 10 Jahren für das Material EMFL bei 48,0 % deutlich höher als für die Restaurationsmaterialien EML und Keramik bei jeweils ungefähr 14 % (Tabelle 19). Für die anderen Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.



**Abb. 18: Zeit bis zum Auftreten einer Komplikation für den Versorgungstyp Krone gegliedert nach Material.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Beim Vergleich von Kronen und Brücken unterteilt nach dem Material der Versorgung in den Gruppen „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ zeigten sich in der graphischen Darstellung der Zeit bis Komplikationseintritt scheinbare Unterschiede (Abb. 18 und Abb. 19).

Dieser Unterschied war allerdings bei Kronen nicht signifikant; Log Rank  $X^2(2) = 2,27$ ,  $p = 0,322$ . Auch bei Brücken war der Einfluss des Gerüstmaterials auf die Zeit der Komplikationsfreiheit nicht signifikant; Log Rank  $X^2(1) = 2,07$ ,  $p = 0,305$ .



**Abb. 19: Zeit bis zum Auftreten einer Komplikation für den Versorgungstyp Brücke gegliedert nach Material.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Die Tabelle 20 und die Tabelle 21 zeigen die Fallzahlen und die Wahrscheinlichkeiten für den Erfolg einer Restauration nach 5, 10 und 15 Jahren. Dabei wird unterschieden nach dem Material sowie zwischen den Ereignissen Korrosion, Dezementierung, Verblendfraktur und Sekundärkaries.

**Tabelle 20: Fallzahlen und Wahrscheinlichkeit für die jeweilige Komplikationsfreiheit für den Versorgungstyp Krone mit Unterteilung nach Restaurationsmaterial**

Komplikation/ Ereignis	Fälle gesamt	Ereignisse	Zensierte Fälle	Zensierte Fälle (in )	p(K) 5 Jahre	p(K) 10 Jahre	p(K) 15 Jahre
Korrosion	59	0	59	100,0	1.000	1.000	1.000
Dezementierung	93	0	93	100,0	1.000	1.000	1.000
Verblendfraktur	67	7	60	89,6	1.000	0.871	0.809
- EMFL	9	2	7	77,8	1.000	0.667	0.667
- EML	24	3	21	87,5	1.000	0.896	0.827
- Keramik	34	2	32	94,1	1.000	0.886	0.886
Sekundärkaries	93	5	88	94,6	1.000	0.942	0.903
- EMFL	16	1	15	93,8	1.000	0.800	0.800
- EML	43	3	40	93,0	1.000	0.952	0.909
- Keramik	34	1	33	97,1	1.000	0.966	0.966

Korrosion wurde nur an Restaurationen mit metallischem Anteil untersucht, Verblendfrakturen nur an Restaurationen mit Verblendung, p(K) = Wahrscheinlichkeit für die jeweilige Komplikationsfreiheit, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

**Tabelle 21: Fallzahlen und Wahrscheinlichkeit für die jeweilige Komplikationsfreiheit für den Versorgungstyp Brücke mit Unterteilung nach Restaurationsmaterial**

Komplikation/ Ereignis	Fälle gesamt	Ereignisse	Zensierte Fälle	Zensierte Fälle (in %)	p(K) 5 Jahre	p(K) 10 Jahre	p(K) 15 Jahre
Korrosion	46	2	44	95,7	1.000	0.940	0.940
- EMFL	20	1	19	95,0	1.000	0.947	0.947
- EML	26	1	25	96,2	1.000	0.941	0.941
Dezementierung	48	2	46	95,8	1.000	0.933	0.933
- EMFL	20	2	18	90,0	1.000	0.844	0.844
Verblendfraktur	47	11	36	76,6	1.000	0.755	0.570
- EMFL	20	5	15	75,0	1.000	0.798	0.684
- EML	25	6	19	76,0	1.000	0.813	0.457
Sekundärkaries	48	3	45	93,8	1.000	0.902	0.902
- EMFL	20	2	18	90,0	1.000	0.859	0.859
- EML	26	1	25	96,2	1.000	0.923	0.923

Korrosion wurde nur an Restaurationen mit metallischem Anteil untersucht, Verblendfrakturen nur an Restaurationen mit Verblendung, p(K) = Wahrscheinlichkeit für die jeweilige Komplikationsfreiheit, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

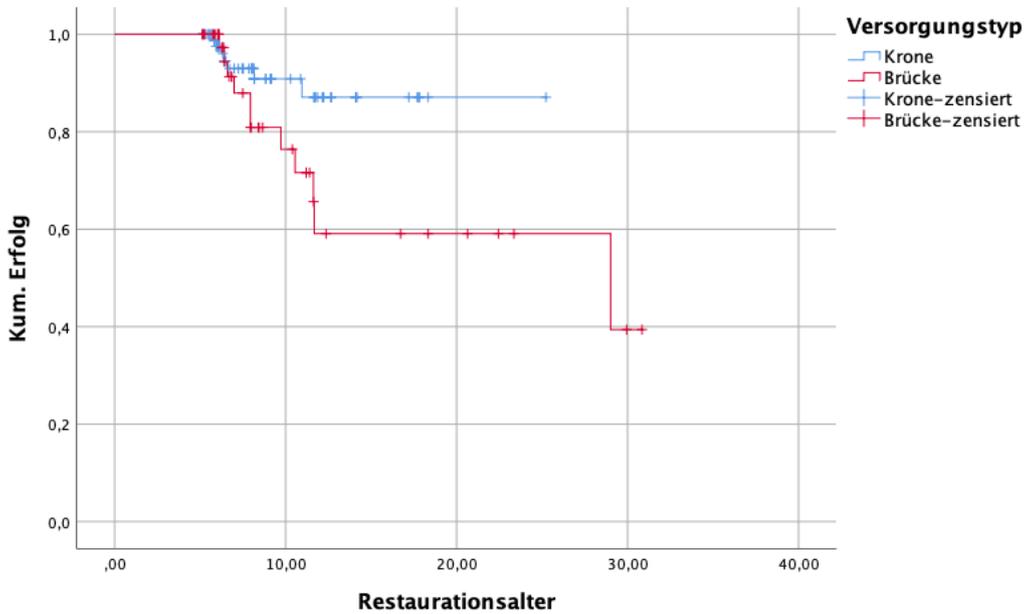
In unserem Kollektiv ereigneten sich bei Kronen keine Korrosions- oder Dezementierungsereignisse. Diese fanden sich ausschließlich bei Brücken.

Das Risiko für eine Verblendfraktur lag bei Kronen nach 10 Jahren bei 12,9 % und nach 15 Jahren bei 19,1 % und damit niedriger als bei Brücken. Hier war das Risiko für eine Verblendfraktur nach 10 Jahren bei 20,2 % und nach 15 Jahren bei 43,0 % (Abb. 20, Tabelle 20 und Tabelle 21). Dieser Unterschied war signifikant; Log Rank  $X^2(1) = 4,401$ ,  $p = 0,036$  (Tabelle 22).

**Tabelle 22: Log Rank-Test auf Unterschiede der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Komplikationen Korrosion, Dezementierung, Verblendfraktur und Sekundärkaries zwischen den Versorgungstypen Krone und Brücke**

Ereignis	Chi-Quadrat	df	p	Größenverhältnis
<b>Korrosion</b>	<b>4,102</b>	<b>1</b>	<b>0,043</b>	<b>K &lt; B</b>
Dezementierung	3,441	1	0,064	K = B
<b>Verblendfraktur</b>	<b>4,401</b>	<b>1</b>	<b>0,036</b>	<b>K &lt; B</b>
Sekundärkaries	0.049	1	0,825	K = B

K = Krone, B = Brücke,  $X^2$  = Prüfgröße des Tests, df = Freiheitsgrade des Log Rank-Tests, p = Signifikanzwert, signifikante Werte sind **fett** dargestellt



**Abb. 20: Zeit bis zum Auftreten einer Verblendfraktur für Kronen und Brücken**

Das Risiko für eine Korrosion lag für Brücken nach 10 und 15 Jahren bei 6 %, bei Kronen hingegen bei 0 %. Dieser Unterschied war signifikant; Log Rank  $X^2(1) = 4,102$ ,  $p = 0,043$ . Allerdings war die Aussage auf Grund nur zweier Ereignisse nicht aussagekräftig. Weitere Unterschiede zwischen den Versorgungstypen Krone und Brücke waren nicht signifikant. Auf der Ebene der verschiedenen Materialien zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 23).

**Tabelle 23: Log Rank-Test auf Unterschiede der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Komplikationen Korrosion, Dezementierung, Verblendfraktur und Sekundärkaries zwischen den Restaurationsmaterialien EMFL, EML und Keramik**

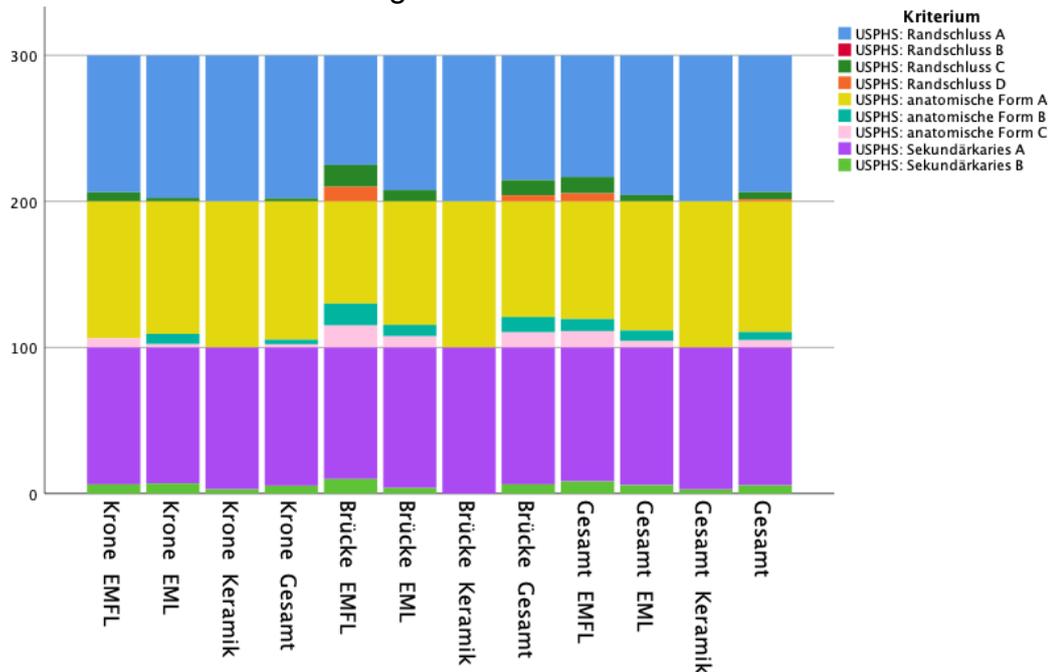
Ereignis	Chi-Quadrat	df	p	Größenverhältnis
Korrosion	0,519	1	0,471	EML = Keramik = EMFL
Dezementierung	5,991	2	0,050	EML = Keramik = EMFL
Verblendfraktur	1,981	2	0,371	EML = Keramik = EMFL
Sekundärkaries	1,305	2	0,521	EML = Keramik = EMFL

EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung,  $X^2$  = Prüfgröße des Tests, df = Freiheitsgrade des Log Rank-Tests, p = Signifikanzwert

Die Daten unserer Untersuchung zeigten, dass Kronen über einen längeren Zeitraum komplikationslos bleiben konnten als Brücken. Gleiches gilt für EM-Restaurationen, die vor allem im Vergleich zu EMF-Restaurationen eine geringere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Komplikation zeigten. Verblendfrakturen traten zudem bei Brücken signifikant häufiger auf als bei Kronen.

## 4.6 Analyse der USPHS-Kriterien

Zur Standardisierung und besseren Vergleichbarkeit mit Werten aus der Literatur wendeten wir die USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries zur Beurteilung der Restaurationen an.



**Abb. 21: prozentuale Darstellung des Auftretens der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries unterteilt nach den Versorgungstypen Krone und Brücke und den Restaurationsmaterialien.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Tabelle 38 im Anhang und Abb. 21 zeigen die Verteilung der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries innerhalb der in unserer Studie untersuchten Restaurationen.

Um den Effekt des Versorgungstyps Krone oder Brücke auf die Verteilung der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries zu testen, wurden Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt.

Außerdem wendeten wir Kruskal-Wallis-Tests an, um den Einfluss der Restaurationsmaterialien EMFL, EML und Keramik auf die Verteilung der USPHS-Kriterien Randschluss, anatomische Form und Sekundärkaries zu untersuchen. Bei einem signifikanten Ergebnis wurden paarweise Bonferroni-korrigierte post hoc Vergleiche mittels Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt.

### 4.6.1 Randschluss

Der Großteil der Arbeiten zeigte einen Randschluss der USPHS-Klasse A (93,6 % = 132/141), nur wenige Klasse C (5,0 % = 7/141) und Klasse D (1,4 % = 2/141). Klasse C und D entfielen dabei insbesondere auf Brücken und hier vor allem auf das Material EMFL. So zeigten 15,0 % (= 3/20) der EMF-Brücken Klasse C und 10,0 % (= 2/20) Klasse D.

Die statistische Auswertung bestätigte den Eindruck, dass Brücken (MRang = 76,82) eher als Kronen (MRang = 67,99) höhere USPHS-Klassen bezüglich des Randschlusses aufwiesen. Es handelte sich hierbei um einen schwachen, signifikanten Zusammenhang;  $U = 1952,50$ ,  $z = -2,871$ ,  $p = 0,004$ ,  $r = -0,24$ .

Um die Auswirkung des Restaurationsmaterials zu überprüfen, wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Die Verteilung der drei Restaurationsmaterialien unterschied sich dabei signifikant;  $X^2(2) = 9,304$ ,  $p = 0,01$ . Im post hoc Vergleich ergab sich ein schwacher, signifikanter Unterschied. Das Material EMFL zeigte höhere Klassen (MRang = 39,5) als Keramik (MRang = 33,5);  $U = 540,0$ ,  $z = -2,538$ ,  $p = 0,033$ ,  $r = -0,214$ .

Weitere signifikante Unterschiede in den anderen Gruppen wurden nicht gefunden.

#### **4.6.2 Anatomische Form**

Der größte Teil der Arbeiten wurde für das USPHS-Kriterium anatomischen Form mit Klasse A (89,4 % = 126/141) beurteilt. Die Klassen B (5,7 % = 8/141) und C (5,0 % = 7/141) traten nur selten auf. Betrachtet man die Materialien unterteilt nach Kronen und Brücken, so zeigte sich, dass EMF-Brücken am häufigsten Klasse B (15,0 % = 3/20) und C (15,0 % = 3/20) aufwiesen, gefolgt von EM-Brücken mit 7,7% (= 2/26) Klasse B und 7,7% (=2/26) Klasse C. Bei Kronen hingegen fanden sich nur in einzelnen Fällen Klasse B oder C wieder.

Es zeigte sich ein schwacher, signifikanter Unterschied zwischen den Versorgungstypen;  $U = 1884,50$ ,  $z = -2,827$ ,  $p = 0,005$ ,  $r = -0,24$ . Brücken (MRang = 78,24) wurden mit höheren Klassen als Kronen (MRang = 67,26) bewertet.

Das Restaurationsmaterial hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der USPHS-Klassen;  $X^2(2) = 7,289$ ,  $p = 0,026$ . Paarweise post hoc Vergleiche ergaben, dass Restaurationen aus dem Material EMFL (MRang = 40,00) im Vergleich zu Restaurationen aus Keramik (MRang = 33,00) höhere USPHS-Klassen aufwiesen. Es handelte sich um einen schwachen, signifikanten Zusammenhang;  $U = 522,0$ ,  $z = -2,762$ ,  $p = 0,018$ ,  $r = -0,23$ .

Weitere signifikante Unterschiede in den anderen Gruppen wurden nicht gefunden.

#### **4.6.3 Sekundärkaries**

Die USPHS-Klassen für die Beurteilung der Sekundärkaries gliedern sich in die zwei Klassen A und B. Klasse A bedeutet Kariesfreiheit und trat in unserem Kollektiv in 94,3 % (= 133/141) der Restaurationen auf, nur bei 5,7 % (= 8/141) fand sich mit Klasse B eine Sekundärkaries. Diese Fälle verteilten sich gleichmäßig über die Versorgungstypen;  $U = 2212,5$ ,  $z = -0,212$ ,  $p = 0,832$ . Auch in Hinblick auf das Restaurationsmaterial unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant;  $X^2(2) = 1,042$ ,  $p = 0,594$ .

Weitere signifikante Unterschiede in den anderen Gruppen wurden nicht gefunden.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass sowohl die Restaurationsform als auch das Material einen schwachen, signifikanten Einfluss auf die Ausprägung des Randschluss sowie der anatomischen Form hatten. Brücken waren signifikant häufiger von den USPHS-Klassen C und D für den Randschluss und Klasse C für die anatomische Form betroffen. Gleiches galt für die Restaurationsmaterialien EMFL im Vergleich zu Keramik. Die Ergebnisse unserer Studie deuten darauf hin, dass EMFL im Vergleich zu Keramik häufiger USPHS-Klassen C und D für den Randschluss und Klasse C für die anatomische Form aufwies.

## 4.7 Parodontale Situation

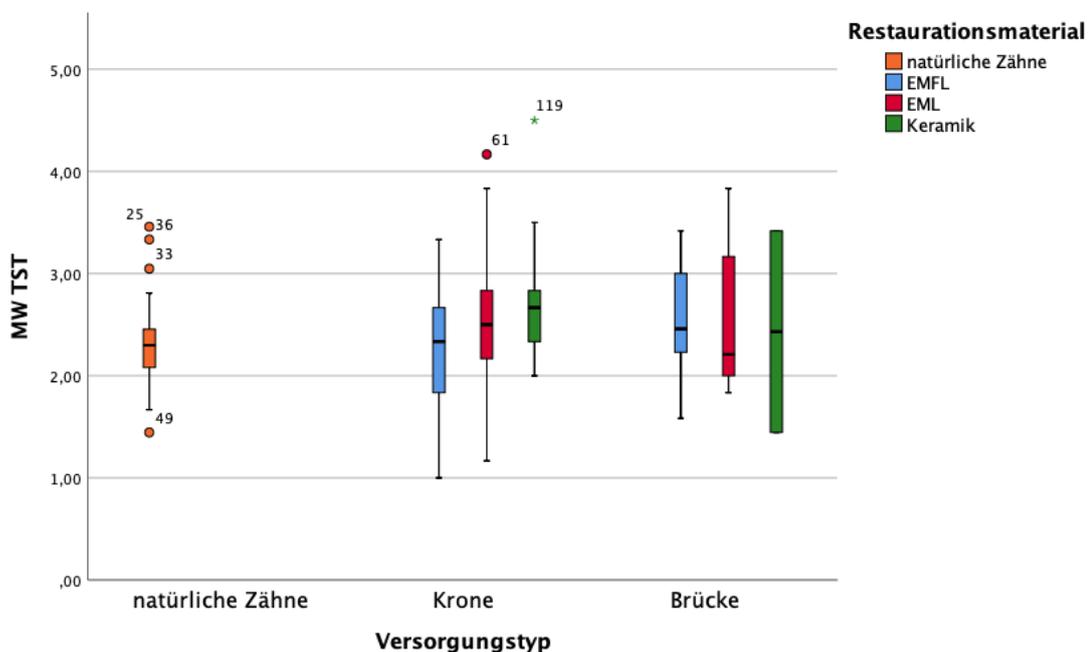
Zur Untersuchung der parodontalen Situation wurden die Taschensondierungstiefen, Gingivarezessionen und das klinische Attachmentlevel gemessen. Die Beurteilung der Mundhygiene erfolgte durch die Erhebung des Sulkus-Blutungs-Index.

Zur Auswertung untergliederten wir die Restaurationen erneut zunächst in die Gruppe „K-B“ und die Gruppe „EMFL-EML-Keramik“. Anschließend wurden sie weiter nach Versorgungstyp und Restaurationsmaterial in die Gruppen „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ unterteilt.

### 4.7.1 Vergleich Restaurationen vs. natürliche Zähne

Zunächst wurden die Mittelwerte der Messungen der Taschensondierungstiefen, der Gingivarezessionen und des CALs an den Restaurationen gebildet und mit den natürlichen Zähnen verglichen. Mittels des Wilcoxon-Matched-Pairs-Test wurden anschließend die Unterschiede zwischen natürlichen Vergleichszähnen und Restaurationszähnen auf Signifikanz und anschließend mit der Berechnung der Effektstärke nach Cohen auf Größe des Effekts überprüft.

#### 4.7.1.1 Taschensondierungstiefen



**Abb. 22: gruppiertes Boxplot der Mittelwerte der Taschensondierungstiefe an natürlichen Zähnen und Kronen und Brücken, untergliedert nach den Restaurationsmaterialien EMFL, EML und Keramik.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung, MW TST = Mittelwert der Taschensondierungstiefen (in mm).

Die Taschensondierungstiefen an allen Restaurationen (MW = 2,52 mm, SD = 0,59 mm) waren signifikant höher als die an den natürlichen Zähnen (MW = 2,29 mm, SD = 0,42 mm). Gleiches galt für Kronen und Brücken, jeweils die drei Materialien EMFL, EML und Keramik sowie für die Versorgungstypen mit den Untergruppen EMFL, EML und Keramik. Insbesondere bei Keramikkrone im

Vergleich zu natürlichen und EMF-Brücken im Vergleich zu natürlichen Zähnen handelte es sich um starke, signifikante Unterschiede (Tabelle 24 und Abb. 22).

**Tabelle 24: Wilcoxon-Matched-Pairs-Test der Taschensondierungstiefen zwischen Restaurationszähnen und natürlichen Vergleichszähnen**

		n	TST (in mm)		z	p	r
			R	NZ			
Kronen	Gesamt	93	2,54	2,29	-4,123	<b>&lt;0.001</b>	-0,428
	EMFL	16	2,28	2,07	-1,267	0.216	-0,317
	EML	43	2,52	2,32	-2,607	<b>0.008</b>	-0,398
	Keramik	34	2,69	2,37	-2,976	<b>0.002</b>	-0,510
Brücken	Gesamt	48	2,49	2,28	-3,149	<b>0.001</b>	-0,455
	EMFL	20	2,52	2,22	-2,502	<b>0.010</b>	-0,559
	EML	26	2,48	2,29	-2,175	<b>0.028</b>	-0,427
	Keramik	2	2,43	2,7	-1,342	0.500	-0,949
Kronen und Brücken gepoolt	Gesamt	93	2,52	2,29	-5,162	<b>&lt;0.001</b>	-0,435
	EMFL	36	2,41	2,16	-2,679	<b>0.006</b>	-0,447
	EML	69	2,51	2,31	-3,379	<b>0.001</b>	-0,407
	Keramik	36	2,67	2,39	-2,712	<b>0.006</b>	-0,452

TST = Taschensondierungstiefen, R = Mittelwert an Restaurationszähnen, NZ = Mittelwert an natürlichen Vergleichszähnen, z = Teststatistik, p = Signifikanzwert, r = Effektstärke, signifikante Werte sind **fett** dargestellt, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Lediglich bei EMF-Kronen ( $p = 0,216$ ) und Keramikbrücken ( $p = 0,500$ ) konnte zwar dieselbe Tendenz beobachtet werden, diese war jedoch nicht signifikant.

#### 4.7.1.2 Rezessionen

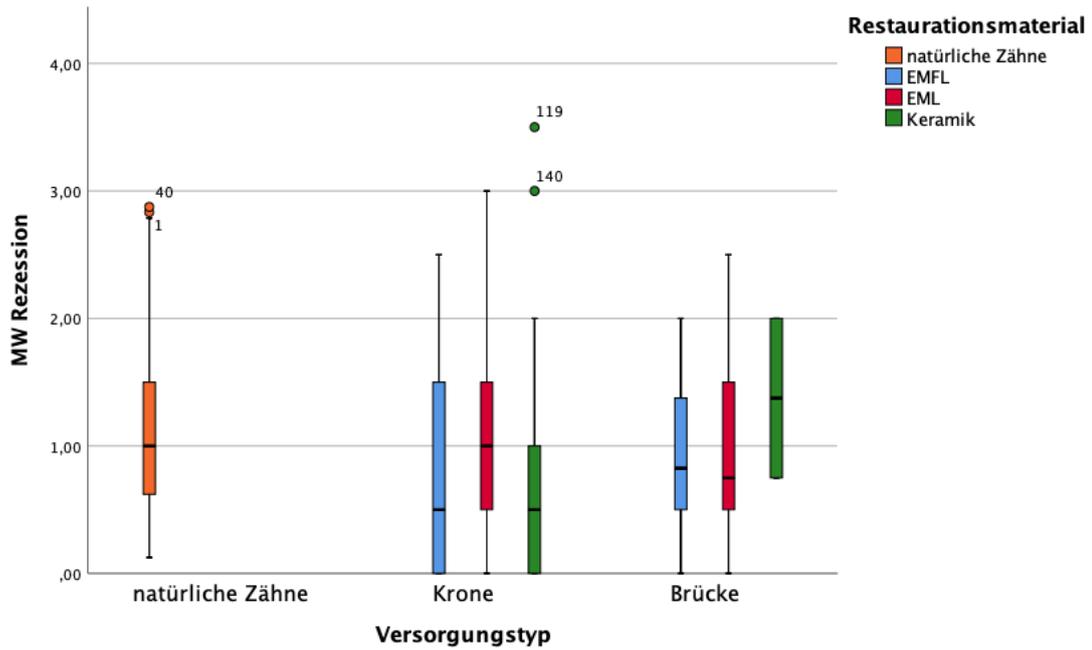
Die Auswertung der Rezessionen ergab bis auf eine Ausnahme keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der Rezessionen an Zähnen mit Restaurationen im Vergleich zu natürlichen Zähnen. Weder alle Restaurationen verglichen mit allen natürlichen Zähnen noch die Restaurationsgruppen Kronen bzw. Brücken und die jeweiligen natürlichen Zähnen unterschieden sich signifikant (Tabelle 25 und Abb. 23).

**Tabelle 25: Wilcoxon-Matched-Pairs-Test der Rezessionen zwischen Restaurationenzähnen und natürlichen Vergleichszähnen**

		n	Rezessionen (in mm)		z	p	r
			R	NZ			
Kronen	Gesamt	93	0,92	1,01	-1,284	0.200	-0,133
	EMFL	16	0,81	0,88	-0,338	0.752	-0,085
	EML	43	1,1	0,91	-0,882	0.383	-0,135
	Keramik	34	0,76	1,19	-2,743	<b>0.005</b>	-0,470
Brücken	Gesamt	48	0,96	1,11	-0,83	0.411	-0,120
	EMFL	20	0,95	0,92	-0,443	0.671	-0,099
	EML	26	0,95	1,18	-1,063	0,296	-0,208
	Keramik	2	1,38	2,14	-1,342	0.500	-0,949
Kronen und Brücken gepoolt	Gesamt	93	0,94	1,04	-1,618	0.106	-0,136
	EMFL	36	0,98	0,91	-0,09	0.932	-0,015
	EML	69	1,04	1,01	-0,006	0.996	-0,001
	Keramik	36	0,8	1,25	-2,999	<b>0.002</b>	-0,500

R = Mittelwert an Restaurationenzähnen, NZ = Mittelwert an natürlichen Vergleichszähnen, z = Teststatistik, p = Signifikanzwert, r = Effektstärke, signifikante Werte sind **fett** dargestellt, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

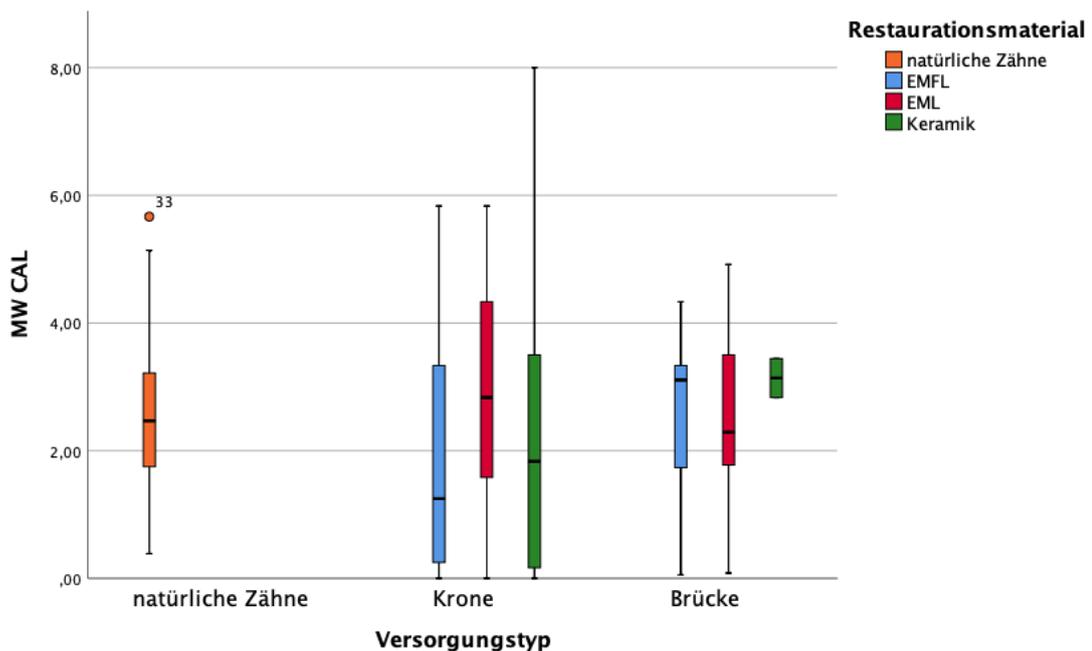
Das Restaurationsmaterial Keramik stellte eine Ausnahme dar. An Keramikrestaurationen (MW = 0,8 mm, SD = 0,86 mm) traten geringere Rezessionen als an den natürlichen Vergleichszähnen (MW = 1,25 mm, SD = 0,46 mm) auf. Hierbei handelte es sich um einen mittleren, signifikanten Unterschied; z = -2,999, p = 0,002, r = -0,499). Auch Keramikronen (MW = 0,76 mm, SD = 0,85 mm) wiesen moderat, signifikant geringere Rezessionen auf als die natürlichen Vergleichszähne der Gruppe (MW = 1,19 mm, SD = 0,41 mm); z = -2,743, p = 0,005, r = -0,470.



**Abb. 23: gruppierter Boxplot der Mittelwerte der Rezessionen an natürlichen Zähnen und Kronen und Brücken, untergliedert nach den Restaurationsmaterialien EMFL, EML und Keramik.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung, MW Rezession = Mittelwert der Rezessionen (in mm).

#### 4.7.1.3 klinisches Attachmentlevel

Auch das klinische Attachmentlevel unterschied sich nicht signifikant in Bezug auf alle Restaurationen (MW = 2,5 mm, SD = 1,69 mm) verglichen mit allen natürlichen Zähnen (MW = 2,41 mm, SD = 1,17 mm). Auch in der Unterscheidung Krone – Brücke zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Abb. 24, Tabelle 26).



**Abb. 24: gruppierter Boxplot der Mittelwerte des klinischen Attachmentlevels an natürlichen Zähnen und Kronen und Brücken, unterteilt nach Versorgungstyp und Restaurationsmaterial.** EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung, MW CAL = Mittelwert des klinischen Attachmentlevels (in mm).

**Tabelle 26: Wilcoxon-Matched-Pairs-Test des klinischen Attachmentlevels zwischen Restaurationszähnen und natürlichen Vergleichszähnen**

		CAL (in mm)					
		n	R	NZ	z	p	r
Kronen	Gesamt	93	2,46	2,35	-0,236	0.060	-0,024
	EMFL	16	1,98	1,96	-0,155	0.782	-0,039
	EML	43	2,85	2,16	-2,306	<b>0.020</b>	-0,352
	Keramik	34	2,19	2,78	-2,027	<b>0.043</b>	-0,348
Brücken	Gesamt	48	2,6	2,52	-0,713	0.481	-0,103
	EMFL	20	2,59	2,21	-1,344	0.186	-0,301
	EML	26	2,59	2,6	-0,229	0.827	-0,045
	Keramik	2	3,14	4,53	-1,342	0.500	-0,949
Kronen und Brücken gepoolt	Gesamt	93	2,46	2,35	-0,236	0.060	-0,024
	EMFL	36	2,32	2,1	-0,974	0.336	-0,162
	EML	69	2,74	2,33	-2,018	<b>0.043</b>	-0,243
	Keramik	36	2,24	2,88	-2,279	<b>0.022</b>	-0,380

CAL = klinisches Attachmentlevel, R = Mittelwert an Restaurationszähnen, NZ = Mittelwert an natürlichen Vergleichszähnen, z = Teststatistik, p = Signifikanzwert, r = Effektstärke, signifikante Werte sind **fett** dargestellt, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Erst die Auswertung in der Unterteilung des Gesamtkollektivs in die Restaurationsmaterialien ergab signifikante Unterschiede. Das CAL bei EM-Restaurationen (MW = 2,74 mm, SD = 1,54 mm) war schwach, signifikant höher als bei den natürlichen Vergleichszähnen (MW = 2,33 mm, SD = 1,05 mm);  $z = -2,018$ ,  $p = 0,043$ ,  $r = -0,243$ . Bei den keramischen Restaurationen lag das CAL der Zähne mit Restaurationen (MW = 2,24 mm, SD = 2,00 mm) hingegen moderat, signifikant unter dem der natürlichen Vergleichszähne (MW = 2,88 mm, SD = 0,99 mm);  $z = -2,279$ ,  $p = 0,022$ ,  $r = -0,380$ .

Dieser Trend zeigte sich auch in der Auswertung des Versorgungstyps Krone unterteilt nach dem Restaurationsmaterial. EM-Kronen (MW = 2,85 mm, SD = 1,72 mm) hatten einen moderat, signifikant höheres CAL als die natürlichen Vergleichszähne (MW = 2,16 mm, SD = 0,97 mm);  $z = -2,306$ ,  $p = 0,020$ ,  $r = -0,352$ ; Keramikronen jedoch (MW = 2,19 mm, SD = 2,04 mm) ein moderat, signifikant geringeres CAL als die natürlichen Vergleichszähne (MW = 2,78 mm, SD = 0,92 mm);  $z = -2,027$ ,  $p = 0,043$ ,  $r = -0,348$ .

Unsere Daten weisen darauf hin, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Zähnen mit Restaurationen und der natürlichen Restbezaugung gibt. Die Taschensondierungstiefen an Restaurationen waren generell signifikant höher als an natürlichen Zähnen. Rezessionen waren im Vergleich zu den natürlichen Vergleichszähnen vor allem bei Keramikrestaurationen und hier insbesondere bei Keramikkrone signifikant weniger ausgeprägt. Das klinische Attachmentlevel zeigte sich bei EM-Restaurationen signifikant höher, bei Keramikrestaurationen hingegen signifikant niedriger als bei den natürlichen Zähnen. Dieser Trend ergab sich vor allem bei den Kronenversorgungen.

#### 4.7.2 Vergleich der Restaurationen untereinander

Um die Mittelwerte unter Berücksichtigung des Unterschieds zu den natürlichen Zähnen auswerten zu können, bildeten wir für jede Restauration die Differenz zwischen dem Mittelwert der Taschensondierungstiefen, der Rezession und des klinischen Attachmentlevels und dem jeweiligen Mittelwert der natürlichen Vergleichszähne. Die Mittelwerte der mittleren Differenz sind in Tabelle 27 dargestellt.

**Tabelle 27: Differenzen der Mittelwerte zwischen Restaurationen und natürlichen Vergleichszähnen für die Variablen TST, Rezession und CAL**

		Differenz MW TST		Differenz MW Rezession		Differenz MW CAL	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
Krone	EMFL	0,21	0,76	-0,07	1,08	0,02	1,91
	EML	0,20	0,47	0,19	0,88	0,69	1,66
	Keramik	0,32	0,48	-0,43	0,85	-0,60	1,90
	Gesamt	0,25	0,53	-0,08	0,94	0,10	1,87
Brücke	EMFL	0,29	0,44	0,02	0,76	0,38	1,40
	EML	0,19	0,37	-0,23	0,79	-0,04	1,31
	Keramik	-0,27	0,32	-0,77	0,24	-1,39	0,71
	Gesamt	0,22	0,41	-0,15	0,78	0,08	1,36
Krone und Brücke gepoolt	EMFL	0,26	0,60	-0,02	0,90	0,22	1,63
	EML	0,20	0,43	0,03	0,86	0,41	1,57
	Keramik	0,28	0,49	-0,45	0,83	-0,64	1,86
	Gesamt	0,24	0,49	-0,10	0,88	0,09	1,71

MW = Mittelwert (in mm), SD = Standardabweichung, TST = Taschensondierungstiefen (in mm), CAL = klinisches Attachmentlevel (in mm), EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Diese Differenzergebnisse wurden anschließend anhand der Gruppen „K-B“, „EMFL-EML-Keramik“, „Krone: EMFL-EML-Keramik“ und „Brücke: EMFL-EML-

Keramik“ ausgewertet. Mit einem Kruskal-Wallis-Test überprüften wir zunächst die gesamte Gruppe auf signifikante Unterschiede. Ergab sich ein signifikanter Unterschied, wurden paarweise Bonferroni-korrigierte post hoc Tests durchgeführt und mit der Berechnung der Effektstärke nach Cohen auf Größe des Effekts überprüft.

#### 4.7.2.1 Taschensondierungstiefen

Die Differenzen der Taschensondierungstiefen an Zähnen mit Restaurationen verglichen mit den natürlichen Zähnen unterschied sich in den untersuchten Gruppen (K-B, EMFL-EML-Keramik, Krone: EMFL-EML-Keramik, Brücke: EMFL-EML-Keramik) nicht signifikant (Tabelle 28).

**Tabelle 28: Signifikanztests für Unterschiede in den Gruppen K-B, EMFL-EML-Keramik, Krone: EMFL-EML-Keramik und Brücke: EMFL-EML-Keramik für die Taschensondierungstiefe**

		p(Gesamt)	p2		
			EMFL	EML	Keramik
R-Typ	K-B	0.811	-	-	-
Material	EMFL		-	-	-
	EML	0.605	-	-	-
	Keramik		-	-	-
Kronen	EMFL		-	-	-
	EML	0.756	-	-	-
	Keramik		-	-	-
Brücken	EML		-	-	-
	EML	0.117	-	-	-
	Keramik		-	-	-

R-Typ = Restaurationstyp, K-B = Krone – Brücke, p2 = Signifikanzwert der Post-Hoc-Tests, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung. Die Gruppen wurden mit Hilfe von Kruskal Wallis-Tests auf signifikante Unterschiede getestet und ggf. in paarweisen Bonferroni-korrigierten Post-Hoc-Tests mittels Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede überprüft. Signifikante Werte sind **fett** markiert.

#### 4.7.2.2 Rezessionen

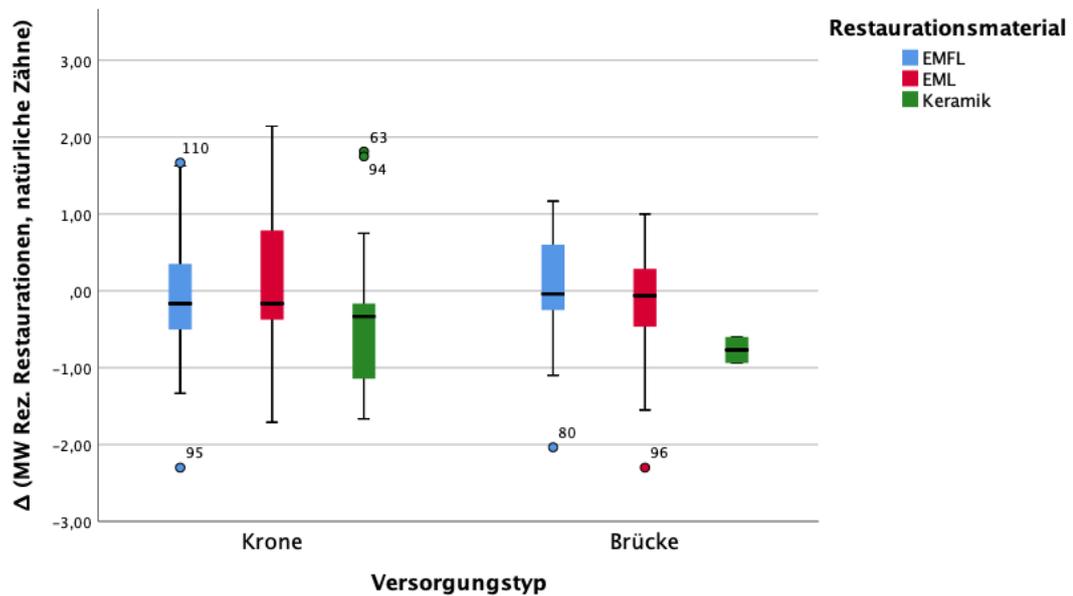
In der Gruppe „K-B“ lagen keine signifikanten Ergebnisse für die Differenz zwischen den Rezessionen der Zähne mit Restaurationen und den natürlichen Vergleichszähnen vor.

Signifikante Unterschiede ergaben sich hingegen in der Unterscheidung nach dem Restaurationsmaterial ( $X^2(2) = 10,218$ ,  $p = 0,006$ ) und der „Gruppe Kronen: EMFL-EML-Keramik“ ( $X^2(2) = 8,153$ ,  $p = 0,017$ ). Paarweise post hoc Vergleiche für die Gruppe „EMFL-EML-Keramik“ zeigten, dass sich die Restaurationsmaterialien Keramik und EMFL ( $U = 406,50$ ,  $z = -2,724$ ,  $p = 0,018$ ,  $r = -0,229$ ) und Keramik und EML ( $U = 811,00$ ,  $z = -2,911$ ,  $p = 0,012$ ,  $r = -0,245$ ) signifikant voneinander unterschieden. In der Gruppe „Kronen: EMFL-EML-Keramik“ ließ sich ein signifikanter Unterschied in den post hoc Tests zwischen Keramik- und EM-Kronen feststellen ( $U = 452,50$ ,  $z = -2,860$ ,  $p = 0,012$ ,  $r = -0,297$ ). Keramikrestaurationen hatten dabei stets geringere Rezessionen als die Vergleichsgruppen (Tabelle 29, Abb. 25 und Abb. 26).

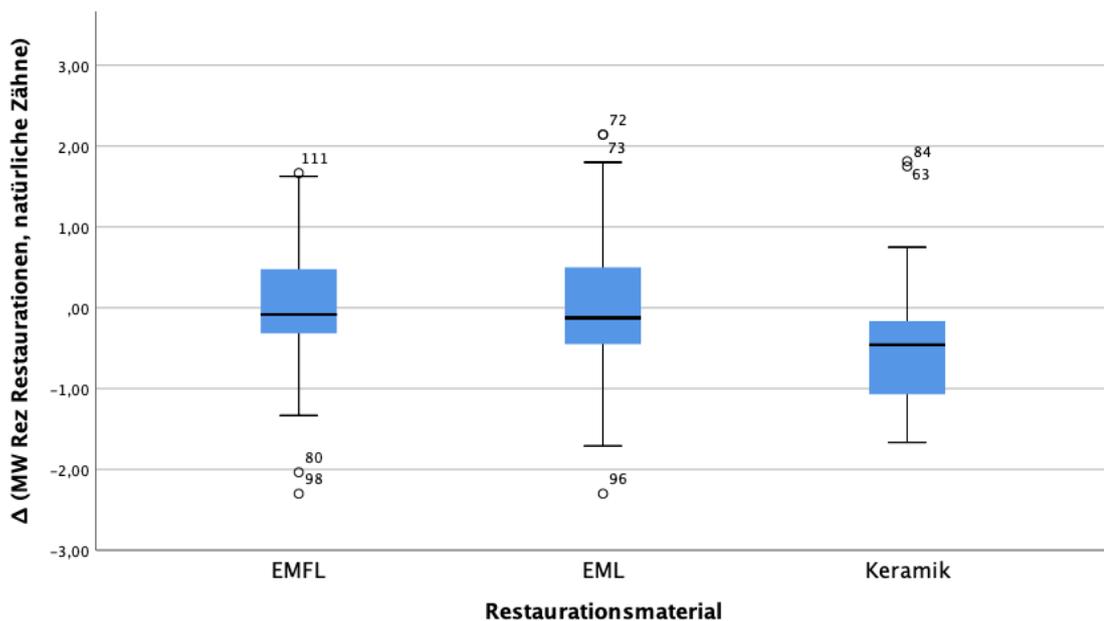
**Tabelle 29: Signifikanztests für Unterschiede in den Gruppen K-B, EMFL-EML-Keramik, Krone: EMFL-EML-Keramik und Brücke: EMFL-EML-Keramik für die Rezessionen und das klinische Attachmentlevel**

		Rezession				CAL			
		Gesamt	EMFL	EML	Keramik	Gesamt	EMFL	EML	Keramik
R-Typ	K-B	0.640	-	-	-	0.864	-	-	-
Material	EMFL		-	0.731	<b>0.018</b>		-	0.845	0.069
	EML	<b>0.006</b>	0.731	-	<b>0.012</b>	<b>0.009</b>	0.845	-	<b>0.009</b>
	Keramik		<b>0.018</b>	<b>0.012</b>	-		0.069	<b>0.009</b>	-
Kronen	EMFL		-	0.726	0.120		-	0.423	0.236
	EML	<b>0.017</b>	0.726	-	<b>0.012</b>	<b>0.016</b>	0.423	-	<b>0.009</b>
	Keramik		0.120	<b>0.012</b>	-		0.236	<b>0.009</b>	-
Brücken	EMFL		-	-	-		-	-	-
	EML	0.151	-	-	-	0.114	-	-	-
	Keramik		-	-	-		-	-	-

R-Typ = Restaurationstyp, K-B = Krone – Brücke, CAL = klinisches Attachmentlevel, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung. Die Gruppen wurden mit Hilfe von Kruskal Wallis-Tests auf signifikante Unterschiede getestet und ggf. in paarweisen Bonferroni-korrigierten post hoc Tests mittels Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede überprüft. Signifikante Werte sind **fett** markiert.



**Abb. 25: gruppierter Boxplot der Differenzen der Mittelwerte zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen der Rezessionen unterteilt nach Versorgungstyp und Restaurationsmaterial.** Δ = Differenz, MW = Mittelwert (in mm), Rez = Rezessionen, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.



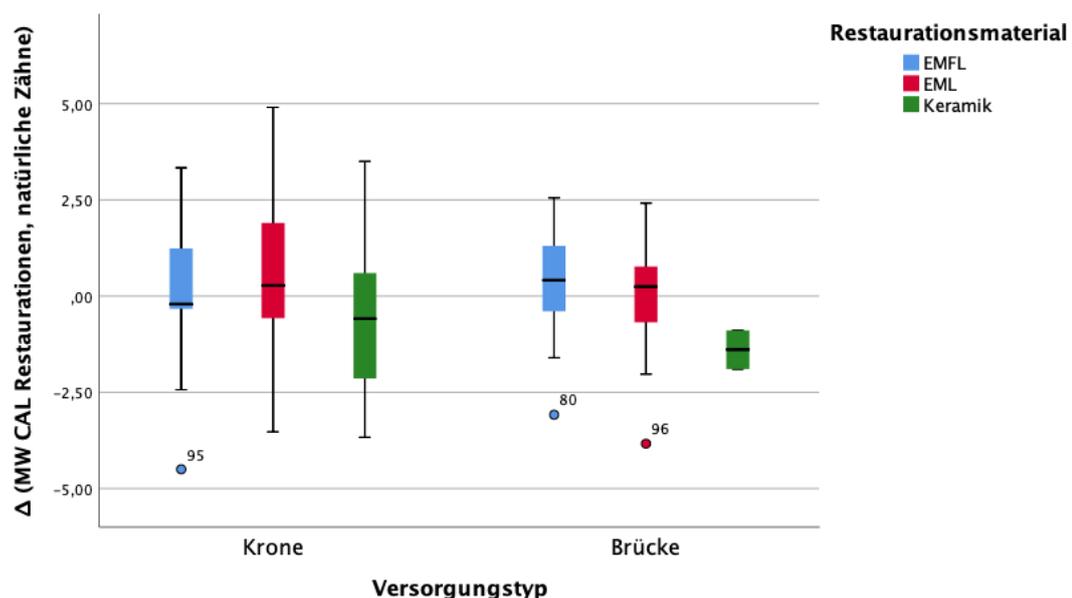
**Abb. 26: gruppierter Boxplot der Differenzen der Mittelwerte zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen der Rezessionen unterteilt nach Restaurationsmaterial.** Δ = Differenz, MW = Mittelwert (in mm), Rez = Rezessionen, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

Innerhalb der Gruppe „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

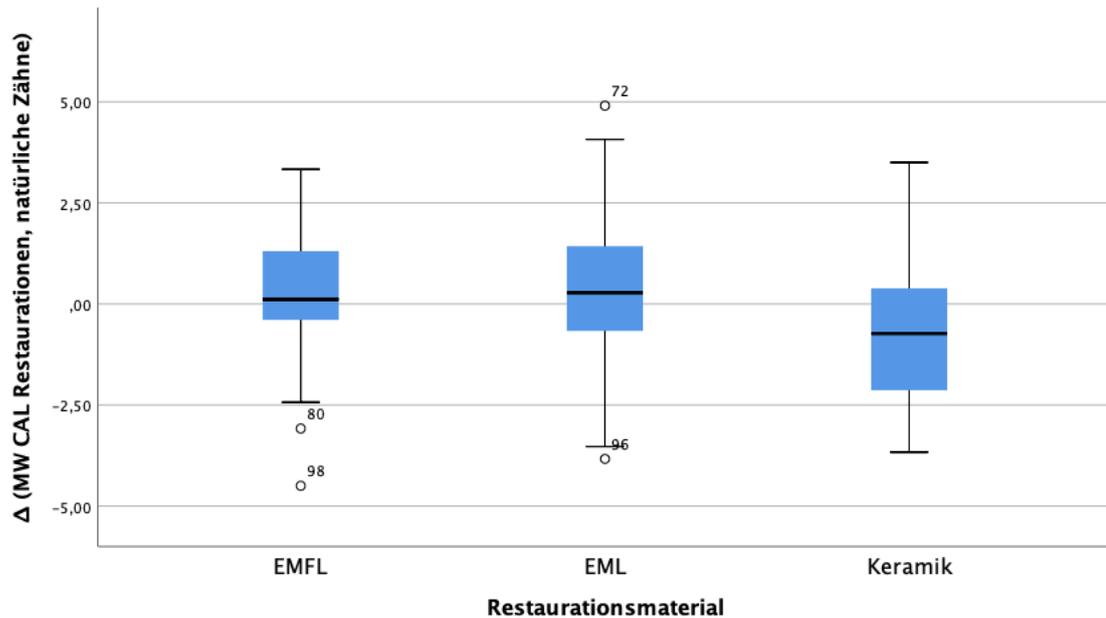
#### 4.7.2.3 klinisches Attachmentlevel

Innerhalb der Gruppe „K-B“ unterschied sich die Differenz des CAL der Zähne mit Restaurationen zu den natürlichen Zähnen nicht signifikant.

Für die Gruppe „EMFL-EML-Keramik“ ( $X^2(2) = 9,390$ ,  $p = 0,009$ ) und die Gruppe „Krone: EMFL-EML-Keramik“ ( $X^2(2) = 8,324$ ,  $p = 0,016$ ) zeigten sich signifikante Unterschiede. Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Tests ergaben, dass sich in beiden Gruppen die Materialien Keramik und EML signifikant voneinander unterschieden; Gruppe „EMFL-EML-Keramik“:  $U = 798,00$ ,  $z = -2,998$ ,  $p = 0,009$ ,  $r = -0,252$ , Gruppe „Krone: EMFL-EML-Keramik“:  $U = 444,50$ ,  $z = -2,939$ ,  $p = 0,009$ ,  $r = -0,305$ . Keramikrestaurationen waren jeweils von einem geringeren Attachmentverlust betroffen (Tabelle 29, Abb. 27 und Abb. 28).



**Abb. 27: gruppiertes Boxplot der Differenzen der Mittelwerte zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen des klinischen Attachmentlevels (CAL) unterteilt nach Versorgungstyp und Restaurationsmaterial.**  $\Delta$  = Differenz, MW = Mittelwert (in mm), CAL = klinisches Attachmentlevel, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.



**Abb. 28: gruppierter Boxplot der Differenzen der Mittelwerte zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen des klinischen Attachmentlevels (CAL) unterteilt nach Restaurationmaterial.**  $\Delta$  = Differenz, MW = Mittelwert (in mm), CAL = klinisches Attachmentlevel, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung.

In der Gruppe „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ fanden sich keine signifikanten Unterschiede.

Zusammenfassend zeigen unsere Daten, dass die Taschensondierungstiefen an Restaurationen erhöht waren und es zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied gab, sie also generalisiert an Restaurationen erhöht sein könnten. Keramikrestaurationen, vor allem Keramikkrone, zeigten geringere Rezessionen als EMFL- und EM-Restaurationen. Auch das klinische Attachmentlevel war bei Keramikrestaurationen geringer als bei EM-Restaurationen. Somit scheinen keramische Restaurationen parodontal möglicherweise zwar wie alle Restaurationen erhöhte Taschensondierungstiefen aufzuweisen, verglichen mit anderen Restaurationmaterialien jedoch am günstigsten zu sein.

### 4.7.3 Einfluss weiterer Faktoren auf den parodontalen Zustand

Die Auswirkung von verschiedenen Parametern auf die Variablen TST und CAL überprüften wir mittels linearer Regressionsmodelle. Als Parameter wählten wir die Region der Versorgung, das Vorliegen einer Verblendung, das Vorliegen einer Komplikation, das Restaurationsalter sowie das Patientenalter zum Zeitpunkt der Untersuchung. Die Ergebnisse sind in Tabelle 30 und Tabelle 31 dargestellt.

**Tabelle 30: lineare Regression: Test des Einflusses der Kovariablen auf die Differenz der Taschensondierungstiefen zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen**

	B	SE B	Beta	Sig.
(Konstante)	0,120	0,271		0,658
OK-FZ vs. OK-SZ	-0,239	0,124	-0,177	0,057
<b>UK-SZ vs. OK-SZ</b>	<b>-0,233</b>	<b>0,090</b>	<b>-0,232</b>	<b>0,011</b>
<b>UK-FZ vs. OK-SZ</b>	<b>-1,110</b>	<b>0,477</b>	<b>-0,191</b>	<b>0,022</b>
mehr als eine Region vs. OK-SZ	0,058	0,158	0,032	0,712
Verblendung vorhanden	-0,161	0,107	-0,130	0,133
Komplikation aufgetreten	-0,148	0,103	-0,121	0,154
<b>Restaurationsalter</b>	<b>-0,018</b>	<b>0,008</b>	<b>-0,183</b>	<b>0,030</b>
<b>Patientenalter</b>	<b>0,009</b>	<b>0,004</b>	<b>0,190</b>	<b>0,024</b>

$R^2 = 0,159$ , ANOVA des Modells  $F(8, 132) = 3,114$ ,  $p = 0,003$   
 B = Regressionskoeffizient, SE B = Standardfehler von B, Beta = Standardisierter Koeffizient  
 Beta, Sig. = Signifikanz, OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, FZ = Frontzahnbereich, SZ = Seitenzahnbereich, vs. = verglichen mit, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben.

Das Effektstärkemaß für das signifikante Modell ( $p = 0,003$ ) für die Taschensondierungstiefen war moderat ( $R^2 = 0,159$ ). Für die Faktoren Unterkiefer-Seitenzahnbereich ( $B = -0,233$ ) und Unterkiefer-Frontzahnbereich ( $B = -1,110$ ), jeweils verglichen mit der Referenzgruppe Oberkiefer-Seitenzahnbereich, sowie Restaurationsalter ( $B = -0,018$ ) konnte ein schwacher, signifikanter, negativer Effekt auf die Differenz der TST nachgewiesen werden (jeweils  $p < 0,05$ ,  $Beta < 0,30$ ), für den Faktor Patientenalter ( $B = 0,009$ ) hingegen ein schwacher, signifikanter, positiver Effekt ( $p < 0,05$ ,  $Beta < 0,30$ ). Alle anderen untersuchten Variablen hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Differenz der Taschensondierungstiefe an Restaurationen zu den natürlichen Vergleichszähnen.

Das Modell der Differenzen des CAL an Restaurationen verglichen mit natürlichen Zähnen zeigte sich als signifikant ( $p < 0,001$ ) mit einem starken Effektstärkemaß ( $R^2 = 0,288$ ). Lediglich der Faktor Oberkiefer-Frontzahnbereich verglichen zur Referenzgruppe Oberkiefer-Seitenzahnbereich ( $B = -2,534$ ) hatte einen starken, signifikanten, negativen Einfluss ( $Beta > 0,50$ ,  $p < 0,001$ ) auf die

Differenz des CAL. Alle anderen Faktoren hatten in unserem Modell keinen signifikanten Einfluss.

**Tabelle 31: lineare Regression: Test des Einflusses der Kovariablen auf die Differenz des klinischen Attachmentlevels (CAL) zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen**

	B	SE B	Beta	Sig.
(Konstante)	1,330	0,870		0,129
<b>OK-FZ vs. OK-SZ</b>	<b>-2,534</b>	<b>0,399</b>	<b>-0,540</b>	<b>0,000</b>
UK-SZ vs. OK-SZ	-0,545	0,288	-0,156	0,061
UK-FZ vs. OK-SZ	-1,559	1,531	-0,077	0,310
mehr als eine Region vs. OK-SZ	-0,245	0,505	-0,039	0,629
Verblendung vorhanden	-0,295	0,343	-0,068	0,391
Komplikation aufgetreten	-0,577	0,331	-0,135	0,083
Restaurationsalter	0,005	0,026	0,015	0,841
Patientenalter	-0,005	0,013	-0,028	0,711

$R^2 = 0,288$ , ANOVA des Modells  $F(8, 132) = 6,661$ ,  $p < 0,001$   
 B = Regressionskoeffizient, SE B = Standardfehler von B, Beta = Standardisierter Koeffizient  
 Beta, Sig. = Signifikanz, OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, FZ = Frontzahnbereich, SZ =  
 Seitenzahnbereich, vs. = verglichen mit, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Region der Versorgung und das Restaurations- bzw. Patientenalter einen signifikanten Einfluss auf die Taschensondierungstiefe haben könnten. Für das CAL zeigte vor allem der Faktor Oberkiefer-Frontzahnbereich einen starken, signifikanten Einfluss. Er senkte die Differenz des CAL der Restaurationen zu den natürlichen Zähnen deutlich.

#### 4.7.4 Sulkus-Blutungs-Index

Zur Beurteilung der Mundhygiene untersuchten wir den Sulkus-Blutungs-Index nach Mühlemann und Son. Zur Auswertung bestimmten wir analog zur Analyse der TST und des CAL zunächst den Mittelwert des SBIs an den Restaurationen und an den natürlichen Vergleichszähnen. Anschließend wurde die Differenz aus den Mittelwerten an den Restaurationen und den natürlichen Zähnen gebildet.

Im gesamten Patientenkollektiv lag der SBI an Restaurationen (MW = 0,89, SD = 0,75) schwach, signifikant höher als an natürlichen Zähnen (MW = 0,71, SD = 0,50);  $z = -2,665$ ,  $p = 0,007$ ,  $r = -0,224$ ). Dieser Unterschied zeigte sich auf Ebene der Restaurationen moderat, signifikant für EML (MW = 0,84, SD = 0,66) im Vergleich zu natürlichen Zähnen (MW = 0,70, SD = 0,45);  $z = -2,502$ ,  $p = 0,012$ ,  $r = -0,301$ . Noch deutlich höher war die Differenz bei EMF-Restaurationen. Insgesamt lag der SBI im Mittel an Restaurationen stark, signifikant höher (MW = 1,02, SD = 0,75) als an den natürlichen Vergleichszähnen (MW = 0,55, SD = 0,50);  $z = -3,229$ ,  $p = 0,001$ ,  $r = -0,538$ . Diese Ausprägung zeigte sich auch an den EMF-Brücken und insbesondere an den EMF-Kronen. Hier war der mittlere SBI (MW = 1,13, SD = 0,89) verglichen mit den natürlichen Zähnen (MW = 0,47, SD = 0,57) mit einem starken Effektmaß signifikant höher;  $z = -2,492$ ,  $p = 0,010$ ,  $r = -0,623$  (Tabelle 32).

**Tabelle 32: Wilcoxon-Matched-Pairs-Test auf Unterschied des Mittelwerts des Sulkus-Blutungs-Index (SBI) an Restaurationen und den jeweiligen natürlichen Vergleichszähnen**

	Anzahl	alle Zähne		R		NZ		Teststatistiken		
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	z	p	r
<b>Gesamt</b>	<b>141</b>	<b>0,84</b>	<b>0,44</b>	<b>0,89</b>	<b>0,75</b>	<b>0,71</b>	<b>0,50</b>	<b>-2,665</b>	<b>0,007</b>	<b>-0,224</b>
Krone	93	0,86	0,46	0,91	0,82	0,75	0,52	-1,718	0,086	-0,178
- EMFL	<b>16</b>	<b>0,74</b>	<b>0,47</b>	<b>1,13</b>	<b>0,89</b>	<b>0,46</b>	<b>0,57</b>	<b>-2,492</b>	<b>0,010</b>	<b>-0,623</b>
- EML	43	0,79	0,45	0,84	0,69	0,71	0,45	-1,619	0,107	-0,247
- Keramik	34	1,01	0,43	0,91	0,93	0,93	0,54	-0,777	0,445	-0,133
<b>Brücke</b>	<b>48</b>	<b>0,80</b>	<b>0,39</b>	<b>0,86</b>	<b>0,62</b>	<b>0,65</b>	<b>0,44</b>	<b>-2,317</b>	<b>0,020</b>	<b>-0,334</b>
- EMFL	<b>20</b>	<b>0,86</b>	<b>0,34</b>	<b>0,93</b>	<b>0,62</b>	<b>0,62</b>	<b>0,45</b>	<b>-2,181</b>	<b>0,028</b>	<b>-0,488</b>
- EML	26	0,76	0,45	0,85	0,61	0,67	0,47	-1,854	0,064	-0,364
- Keramik	2	0,70	0,10	0,17	0,24	0,78	0,04	-1,342	0,500	-0,949
<b>EMFL</b>	<b>36</b>	<b>0,80</b>	<b>0,40</b>	<b>1,02</b>	<b>0,75</b>	<b>0,55</b>	<b>0,50</b>	<b>-3,229</b>	<b>0,001</b>	<b>-0,538</b>
<b>EML</b>	<b>69</b>	<b>0,78</b>	<b>0,45</b>	<b>0,84</b>	<b>0,66</b>	<b>0,70</b>	<b>0,45</b>	<b>-2,502</b>	<b>0,012</b>	<b>-0,301</b>
Keramik	36	0,99	0,42	0,87	0,92	0,92	0,52	-1,034	0,307	-0,172

R = Restaurationen, NZ = natürliche Vergleichszähne, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, z = Teststatistik, p = Signifikanzwert, r = Effektstärke, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben.

Die Restaurationen unterschieden sich in der Gruppe „EMFL-EML-Keramik“ ebenso signifikant ( $X^2(2) = 10,969$ ,  $p = 0,004$ ) wie in der Gruppe „Krone: EMFL-EML-Keramik“ ( $X^2(2) = 9,894$ ,  $p = 0,007$ ). Post hoc Tests ergaben, dass die Differenz des SBI an Keramikrestaurationen und vor allem Keramikkrone signifikant niedriger lag als an EMFL-Restaurationen bzw. EMFL-Krone (U = 387,50,  $p = 0,009$  bzw. U = 128,50,  $p = 0,006$ ) (Tabelle 33) .

Auch in der Gruppe „Brücke: EMFL-EML-Keramik“ ( $X^2(2) = 6,066$ ,  $p = 0,048$ ) zeigten sich signifikante Unterschiede. Diese waren in der post hoc Analyse auf den Vergleich der Materialien EML und Keramik zurückzuführen. Allerdings enthielt unsere Stichprobe nur zwei Keramikbrücken, weshalb das Ergebnis vernachlässigt wurde.

**Tabelle 33: Differenzen der Mittelwerte zwischen Restaurationen und natürlichen Vergleichszähnen für den Sulkus-Blutungs-Index (SBI) mit Signifikanztests auf Unterschiede**

	n	$\Delta$ (R, NZ)		Signifikanztests			
		MW	SD	Gesamt	EMFL	EML	Keramik
Gesamt/K-B	141	0,18	0,71	0,792	-	-	-
Krone	93	0,17	0,78		-	-	-
- EMFL	16	0,67	0,90	<b>0,007</b>	-	<b>0,033</b>	<b>0,006</b>
- EML	43	0,12	0,55		<b>0,033</b>	-	0,276
- Keramik	34	-0,02	0,90		<b>0,006</b>	0,276	-
Brücke	48	0,20	0,55		-	-	-
- EMFL	20	0,31	0,64	<b>0,048</b>	-	0,275	0,105
- EML	26	0,18	0,43		0,275	-	<b>0,024</b>
- Keramik	2	-0,61	0,20		0,105	<b>0,024</b>	-
EMFL	36	0,47	0,78		-	0,057	<b>0,009</b>
EML	69	0,15	0,50	<b>0,004</b>	0,057	-	0,186
Keramik	36	-0,05	0,88		<b>0,009</b>	0,186	-

$\Delta$  = Differenz, R = Restaurationen, NZ = natürliche Vergleichszähne, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, K = Krone, B = Brücke, EMFL = Edelmetallfreie Legierung, EML = Edelmetallhaltige Legierung. Die Gruppen wurden mit Hilfe von Kruskal Wallis-Tests auf signifikante Unterschiede getestet und ggf. in paarweisen Bonferroni-korrigierten post hoc Tests mittels Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede überprüft. Signifikante Werte sind **fett** markiert.

Um den Einfluss weiterer Faktoren auf die Differenz des SBI an Restaurationen zu natürlichen Zähnen zu untersuchen, führten wir eine lineare Regressionsanalyse durch. Als Faktoren wählten wir die Variablen Brücke im Vergleich zu Krone, Keramik vs. EMFL, EML vs. EMFL, Überhang, Verblendung, Sekundärkaries und die Region der Versorgung aufgeteilt nach OK-FZ, UK-SZ, UK-FZ und mehr als eine Region jeweils im Vergleich zur Region OK-SZ aus.

Wie in Tabelle 34 dargestellt, senkten die Faktoren Brücke im Vergleich zur Krone sowie EML bzw. Keramik im Vergleich zu EMFL die Differenz des SBI. Vor allem für das Material Keramik handelte es sich um einen moderaten Effekt ( $|\text{Beta}| = 0,445$ ). So senkte beispielsweise der Faktor Keramik im Vergleich zum Faktor EMFL den Mittelwert der Differenz des SBI um 0,723 Einheiten.

Das Vorhandensein eines Überhangs ( $B = 0,325$ ) sowie eine Restaurationsspannweite über eine Region hinaus ( $B = 0,524$ ) hingegen erhöhten die Differenz des SBI signifikant. Bei beiden Variablen handelte es sich um einen schwachen Effekt ( $0,1 < |\text{Beta}| < 0,3$ ).

**Tabelle 34: lineare Regression: Test des Einflusses der Kovariablen auf die Differenz des Sulkus-Blutungs-Index (SBI) zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen**

	B	SE B	Beta	Sig
(Konstante)	0,231	0,186		0,215
<b>Brücke vs. Krone</b>	<b>-0,446</b>	<b>0,165</b>	<b>-0,299</b>	<b>0,008</b>
<b>Keramik vs. EMFL</b>	<b>-0,723</b>	<b>0,217</b>	<b>-0,445</b>	<b>0,001</b>
<b>EML vs. EMFL</b>	<b>-0,314</b>	<b>0,143</b>	<b>-0,222</b>	<b>0,030</b>
<b>Überhang vorhanden</b>	<b>0,325</b>	<b>0,136</b>	<b>0,223</b>	<b>0,019</b>
Verblendung vorhanden	0,208	0,178	0,116	0,245
Sekundärkaries vorhanden	-0,446	0,256	-0,146	0,084
OK-FZ vs. OK-SZ	0,030	0,212	0,015	0,887
UK-SZ vs. OK-SZ	0,129	0,136	0,089	0,343
UK-FZ vs. OK-SZ	-0,062	0,714	-0,007	0,931
<b>mehr als eine Region vs. OK-SZ</b>	<b>0,524</b>	<b>0,247</b>	<b>0,199</b>	<b>0,036</b>

$R^2 = 0,166$ , ANOVA des Modells  $F(10, 140) = 2,589$ ,  $p = 0,007$   
 B = Regressionskoeffizient, SE B = Standardfehler von B, Beta = Standardisierter Koeffizient  
 Beta, Sig. = Signifikanz, OK = Oberkiefer, UK = Unterkiefer, FZ = Frontzahnbereich, SZ =  
 Seitenzahnbereich, EMFL = Nichtedelmetall, signifikante Werte sind **fett** hervorgehoben.

Alles in allem lässt sich festhalten, dass es signifikante Unterschiede in der Verteilung des SBI hinsichtlich des Versorgungstyps und des Restaurationsmaterials gab. Restaurationen aus EMFL schienen in unserer Studie ein erhöhtes Entzündungsniveau aufzuweisen. Verstärkt wurde dieser Effekt durch eine große Restaurationsspannweite sowie das Vorliegen eines Überhangs im vestibulären oder oralen Restaurationsanteil.

## 5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Das Ziel unserer Studie war die vergleichende Erfolgsanalyse für Kronen und Brücken mit Hinblick auf das Restaurationsmaterial. Neben der Auswertung von restaurationsbezogenen Komplikationen und der Anwendung der standardisierten USPHS-Kriterien legten wir einen weiteren Schwerpunkt auf den Einfluss der verschiedenen Restaurationsformen und Materialien auf die parodontale Situation.

In unserer Studie zeigte sich, dass Brücken signifikant häufiger von Komplikationen betroffen waren als Kronen und signifikant häufiger Randspalte und Verblendfrakturen als bei Kronen auftraten. Parodontal ließen sich hingegen keine Unterschiede finden. Bei Betrachtung der Materialien zeigten EMF-Restaurationen deutlich häufiger Komplikationen als Versorgungen aus einer EML oder Keramik. Zähne mit Restaurationen aus einer EMFL wiesen den höchsten Sulkus-Blutungs-Index auf. Keramikrestaurationen schienen im Vergleich zu den anderen Materialien parodontal am vorteilhaftesten, da Rezessionen und der klinische Attachmentverlust hier am geringsten ausfielen.

### 5.1 Erfolgsanalyse und Komplikationsereignisse

Die Kaplan-Meier-Analyse unserer Kohorte hinsichtlich des Erfolgs von Kronen und Brücken ergab, dass Kronen ein geringeres Risiko für das Auftreten einer Komplikation hatten und über einen längeren Zeitraum komplikationslos blieben als Brücken. Die Erfolgswahrscheinlichkeit nach 10 Jahren lag für Brücken bei 62,9 %, bei Kronen hingegen bei 85,6 %. Auch auf der Ebene der Restaurationsmaterialien konnten wir einen signifikanten Unterschied feststellen. EM-Restaurationen wiesen eine signifikant höhere Erfolgswahrscheinlichkeit auf als EMF-Restaurationen. EM-Restaurationen waren nach 10 Jahren noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 86,2 % gänzlich komplikationslos, während es nur 52,0 % der EMF-Restaurationen waren.

Ein einheitlicher Vergleich der Erfolgs- und Überlebensraten von Kronen und Brücken mit der Literatur indes ist nicht ohne weiteres möglich. Die Arbeitsgruppe um Patel wertete 2014 in einem Review die Qualität von 182 Studien aus dem Zeitraum von 2005 bis 2012 aus. Eingeschlossen wurden Studien, die sich mit der Beurteilung von Erfolg, Überleben und Versagen von Kronen, Brücken und *Onlays* beschäftigten. Sie stellten fest, dass nur 47,2 % der Autoren standardisierte Beurteilungskriterien nutzten. Viele definierten häufig nicht einmal ihre Kriterien für Erfolg, Überleben oder Versagen (Patel et al., 2014). Gerade bei der Erfolgsanalyse kann das zu starken Verzerrungen führen. Je mehr Faktoren als Komplikationsereignis herangezogen werden, umso geringer ist die Erfolgsrate.

Darüber hinaus werten die meisten Studien die Überlebensraten oder die Erfolgsraten für einzelne Fragestellungen wie Komplikationsfreiheit der Verblendung aus (Passia et al., 2013; Reitemeier et al., 2013; Rinke et al., 2013; Wolleb et al., 2012; Wolleb et al., 2012). In Reviews wird aus diesem Grund häufig auf jährliche Komplikationsraten zurückgegriffen, aus denen die Erfolgswahrscheinlichkeit nach 5 oder 10 Jahren abgeleitet werden (Pjetursson et al., 2007; Pjetursson et al., 2015; Sailer et al., 2015). Daher werden im

Folgenden vor allem die Komplikationsraten diskutiert, zumal diese vergleichbare Ergebnisse zur Kaplan-Meier-Analyse ergaben.

### 5.1.1 Versorgungstyp

Brücken waren in unserer Studie signifikant häufiger von Komplikationen betroffen als Kronen. Das Risiko lag 4,09-fach höher. Dieser Unterschied zeigte sich auch in der prozentualen jährlichen Komplikationsrate, die für Brücken mit 3,38 % deutlich höher lag als bei Kronen mit 1,32 %.

Pjetursson et al. untersuchten 2007 in einem Review Überlebens- und Komplikationsraten für Brücken auf natürlichen Zähnen und implantatgetragene Zahnersatzformen. Für die Bestimmung der Komplikations- und Erfolgsrate schlossen sie vier Studien ein und errechneten eine prozentuale jährliche Komplikationsrate von 3,41 % für Brücken auf natürlichen Zähnen (Pjetursson et al., 2007). Unsere Studie kommt somit auf ein nahezu identisches Ergebnis. Allerdings ist dem Review nicht zu entnehmen, welche Komplikationsereignisse die jeweiligen Autoren der eingeschlossenen Studien erhoben haben, wodurch ein direkter Vergleich erschwert wird. Zudem wird nicht nach dem Restaurationsmaterial unterschieden.

In einem weiteren Review aus dem Jahr 2015 beschäftigte sich die Arbeitsgruppe von Pjetursson erneut mit den Überlebens- und Komplikationsraten von Brücken auf natürlichen Zähnen, diesmal unter Berücksichtigung verschiedener Restaurationsmaterialien und Komplikationsarten. So wurde unterschieden zwischen metallkeramischen Brücken und Brücken verschiedener Keramiken (Pjetursson et al., 2015). Für metallkeramische Brücken wurden hier 15 Studien in die Analyse einbezogen.

In unserer Studie lagen die prozentualen jährlichen Komplikationsraten mit den Komplikationsereignissen Sekundärkaries, Dezementierung, Verblendfraktur und Korrosion für EMF-Brücken bei 4,46 % und EM-Brücken bei 2,64 %. Keramikbrücken konnten auf Grund der geringen Anzahl von nur zwei Brücken nicht suffizient ausgewertet werden. Summiert man die Werte für die gleichen Komplikationsereignisse aus dem Review von Pjetursson, so ergibt sich für metallkeramische Brücken eine prozentuale jährliche Komplikationsrate von 3,48 % (Pjetursson et al., 2015). Diese lässt sich ebenfalls mit unseren Werten gut in Einklang bringen. Leider unterschieden die Autoren nicht zwischen den verschiedenen Legierungsformen bei den metallkeramischen Restaurationen.

Ein ähnlich aufgebautes Review aus derselben Arbeitsgruppe beschäftigte sich mit Einzelkronenversorgungen (Sailer et al., 2015). Für die Analyse von metallkeramischen Einzelkronen schlossen die Autoren 17 Studien ein, für Feldspat-Einzelkronen zehn Studien und für Zirkonoxidkronen neun Studien. Eine analoge Summierung der jeweiligen Komplikationsraten wie für die Brücken ergibt für Kronen insgesamt eine prozentuale jährliche Komplikationsrate von 0,82 %, für metallkeramische Kronen 0,86 %, für Feldspat-Keramikkronen 1,22 % und für Zirkonoxid-Keramikkronen 1,7 %.

Diese Werte sind vergleichbar zu den Ergebnissen unserer Studie. Bei den Keramikkronen lag die jährliche Komplikationsrate bei 1,22 %, bei EM-Kronen

bei 1,08 % und bei EMF-Kronen bei 2,31 %. Ein direkter Vergleich ist dennoch nicht vollständig möglich. Zum einen untergliederte das Review die metallkeramischen Kronen nicht in EMF- und EM-Gerüste. Zum anderen konnten die Keramikarten in unserer Studie auf Grund fehlender Angaben in den Patientenakten nicht weiter differenziert werden.

Alles in allem zeigen diese Studien allerdings auch, dass Brücken häufiger von Komplikationen betroffen sind als Kronen. Dieses Ergebnis überrascht allerdings nicht, da Brücken im Vergleich zu Einzelkronen eine erheblich größere räumliche Ausdehnung aufweisen.

### 5.1.2 Restaurationmaterial

EMF-Restaurationen waren in unserer Untersuchung häufiger von Komplikationen betroffen als EM- und Keramikrestaurationen. Die *Odds Ratio* für das Auftreten einer Komplikation lag bei EMF-Arbeiten 2,69-fach höher als bei EM-Arbeiten und 6,21-fach höher als bei Keramikarbeiten. Auch die jährliche Komplikationsrate lag mit 3,67 % für EMF-Restaurationen höher als bei EM- und Keramikrestaurationen (1,65 % bzw. 1,16 %).

In der Literatur finden sich nur wenige klinische Studien zum Vergleich von EMF-Restaurationen mit EM- oder Keramikarbeiten hinsichtlich des Erfolges. Insbesondere prospektive Studien fehlen. Viele Studien berichten zudem nur das Überleben innerhalb eines Probandenkollektivs mit EMF-Restaurationen (Eliasson et al., 2007; Ortorp et al., 2012; Svanborg et al., 2013). So untersuchten Ortorp et al. 2012 in einer retrospektiven Studie das Überleben für Einzelkronen aus einer Kobalt-Chrom-Legierung über einen Zeitraum von 5 Jahren. Sie fanden Komplikationen bei 15 von 90 Kronen, davon acht, die zum Restorationsversagen führten, und errechneten das kumulierte Überleben nach 5 Jahren mit 90,3 %. Der Erfolg wurde nicht berechnet, was einen direkten Vergleich mit unserer Studie erschwert. Legt man allerdings die Beobachtungsdauer von 5 Jahren zu Grunde und wertet die sieben Komplikationen, die nicht zum Restorationsversagen geführt haben, aus, so lässt sich eine jährliche Komplikationsrate von 1,56 % für Einzelkronen schätzen. Diese liegt höher als in dem Review von Sailer et al. aus 2015 und ist vergleichbar mit der Komplikationsrate von 2,31 % für EMFL-Einzelkronen aus unserer Studie.

Svanborg et al. werteten 201 verblendete Kobalt-Chrom-Brücken bei 149 Patientinnen und Patienten einer Privatpraxis über einen Zeitraum von 5 Jahren aus. Sie fanden bei 19 % der Brücken Komplikationen, die einen Erfolg nach 5 Jahren von 83,8 % und ein Überleben von 92,8 % ergaben. Hieraus lässt sich eine jährliche Komplikationsrate von 3,24 % für EMF-Brücken ableiten. Die Komplikationsrate für EMF-Brücken in unserer Studie liegt mit 4,46 % indes leicht höher. Da wir nur 20 EMF-Brücken untersuchten, kann diese Differenz in einem Selektionsbias begründet liegen. Zudem ist das Behandlungsumfeld einer Privatpraxis und das einer Universitätsklinik nicht vergleichbar, da Behandlung in der Universität sowohl von weniger erfahrenen Studierenden als auch von erfahrenen Zahnärztinnen und Zahnärzten durchgeführt werden. Auch das Patientenkontext weicht hinsichtlich der Altersstruktur und der sozialen Struktur vermutlich ab.

Die Arbeitsgruppe um Anderson vom Department of Veterans Affairs Hospital, Hines, Illinois, USA untersuchte 1993 in einer multizentrischen, doppelblinden, prospektiven Studie das klinische Ergebnis von zwei EM- und drei EMF-Legierung über einen Zeitraum von 10 Jahren. In der im *Split-Mouth-Design* angelegten Studie wurden die Patientinnen und Patienten zeitgleich mit einer Krone oder Brücke aus einer Gold-Palladium-Legierung und einer zweiten Krone oder Brücke aus einer von drei Test-Legierungen auf Nickel-Chrom-Basis versorgt. Insgesamt wurden 1260 Restaurationen im Rahmen der Studie angefertigt. Es zeigte sich, dass eine EMF-Legierung ein 3,1-fach erhöhtes Risiko für eine Komplikationen als eine EM-Legierung hatte. Für Verblendfrakturen war das Risiko sogar um den Faktor 6,3 erhöht. Dieser Unterschied erwies sich als signifikant.

Somit bestätigen die vorliegenden Studien und Analysen, dass EMF-Legierungen stärker von Komplikationen betroffen sind als EM-Legierungen. Gleichwohl sind weitere, insbesondere randomisiert kontrollierte prospektive Studien erforderlich, um diese Frage abschließend zu klären.

### 5.1.3 Randspalt

Eine weitere Auffälligkeit unserer Studie ist, dass EMF-Restaurationen im Vergleich signifikant häufiger einen Randspalt zeigten. Der Vergleich mit Studien aus der Literatur ergibt hier allerdings zum Teil widersprüchliche Ergebnisse.

Viele Studien führten vor allem in vitro Untersuchungen zur Auswertung des Randschlusses durch. Außerdem gibt es kein standardisiertes Verfahren zum Messen eines Randspaltes (Nawafleh et al., 2013). Auch die klinisch noch akzeptable Weite des Randspalts ist nicht abschließend geklärt und wird von vielen Autoren unterschiedlich definiert. Die ADA-Spezifikation Nr. 8 fordert, dass die Dicke des Befestigungszements 25µm bei einem Typ I Befestigungszement bzw. 40 µm bei einem Typ II Befestigungszement nicht überschreiten sollte (American Dental Association, 1970-1971). Gardner zeigte schon 1982 in einem Review, dass dieser Wert selbst unter idealisierten Laborbedingungen nicht erreichbar ist und die klinischen Werte davon deutlich abweichen (Gardner, 1982). McLean und von Fraunhofer schlossen 1971 in einer Studie mit über 1000 Restaurationen, dass die Breite von 120 µm die maximal tolerable Größe darstellt (McLean et al., 1971). In einem neueren Review fanden Contrepolis et al. 2013 Randspaltgrößen für Keramikrestaurationen in der Literatur zwischen 3,7 µm und 174 µm, wenngleich 94,9 % der Werte kleiner als 120 µm waren. Sie stellten fest, dass größere Randspalte häufiger mit Plaqueakkumulation, Auswaschungen des Befestigungszements, Sekundärkaries und Parodontitis assoziiert sind (Contrepolis et al., 2013).

Auch für EMF-Restaurationen sind Daten in der Literatur vorhanden. Die Arbeitsgruppe um Northeast et al. schickte im Jahr 1993 Duplikate einer Brückenpräparation an 30 Labore und ließ eine Restauration aus einer EM- oder EMF-Legierung anfertigen. Anschließend werteten sie die Passgenauigkeit im Randbereich auf dem Stumpfmodell mikroskopisch aus. Der Randspalt bei EMF-Legierungen war mit durchschnittlich 145 µm signifikant größer als bei EM-Legierungen mit durchschnittlich 106 µm (Northeast et al., 1992). Der Vergleich von EMF- mit Keramikrestaurationen zeigt für Brücken eine bessere

Passgenauigkeit bei EMF-Legierungen (Keul et al., 2014), insbesondere Feldspat scheint größere Randspalte aufzuweisen (Beschnidt et al., 1999). Auch eine Mikro-CT-Untersuchung demonstrierte geringere Randspalte für eine Nickel-Chrom-Legierung als für Restaurationen aus Zirkon und Lithiumdisilikat (Pimenta et al., 2015). Ein direkter Vergleich mit unseren Studienergebnissen ist jedoch schwierig, da die in vivo Untersuchung des Randspalts deutlich fehleranfälliger und ungenauer ist als die Untersuchung unter idealisierten in vitro Bedingungen (Jahangiri et al., 2005).

In ihrer Studie untersuchten Jahangiri et al. die Genauigkeit der im Praxisalltag weit verbreiteten und auch in unserer Studie eingesetzten Technik, den Restaurationsrand zur Überprüfung des Randschlusses mit einer Sonde zu testen. Sie verglichen die Resultate des Sondierens auf einem Modell mit Untersuchungen der gleichen Restaurationen unter dem Stereomikroskop und erzielten so eine Sensitivität für das Testen eines 30 µm-Randspaltes mit der Sonde von 46 % und eine Spezifität von 97 %. Wurde ein dünnfließendes Silikon-Abdruckmaterial zum Test des Randschlusses benutzt, so sank die Sensitivität bei gleichbleibender Spezifität gar auf 12 %. Erst ab einer Randspaltgröße von 124 µm erreichte die Sensitivität akzeptable Werte von 80 % (Jahangiri et al., 2005).

Dieses Ergebnis zeigt, dass in vivo und in vitro Ergebnisse schwer vergleichbar sind, wenn es um das Erkennen von Randspalten geht. Immerhin zum Ausschluss eines Randspalts scheint das Verfahren geeignet, wenngleich die Spezifität bei größeren Randspalten sinkt. Bei 140 µm liegt sie noch bei 88 % (Jahangiri et al., 2005). Hinzu kommt, dass auch diese Studie unter in vitro Bedingungen durchgeführt wurde. Es ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen, in vivo am Patienten erzielten Ergebnisse deutlich schlechter sind. Faktoren wie etwa eine schlechte Sicht durch überlappende Gingiva, die anatomische Lage, Nachbarzähne und die Enge des approximalen Raumes kommen im Patientenmund erschwerend hinzu.

Ebenso kam eine 2014 von Beddis et al. durchgeführte Umfrage unter 50 Zahnärztinnen und Zahnärzten des Restorative Department of the Leeds Dental Institute zu dem Ergebnis, dass EMF-Restaurationen klinisch als schlechter als EM-Restaurationen wahrgenommen wurden. EMF-Restaurationen mussten bei der Eingliederung häufiger stark angepasst oder sogar neuangefertigt werden (17 % bei EMF-Arbeiten, 5 % bei EM-Arbeiten). Insbesondere der klinische Randschluss wurde von den Befragten bei EMF-Arbeiten häufiger als inadäquat bewertet (17 % bei EMF-Arbeiten, 5 % bei EM-Arbeiten) (Beddis et al., 2014). Dieses Ergebnis gibt ebenfalls Hinweise darauf, dass EMF-Restaurationen klinisch häufiger sondierbare Randspalte aufzuweisen scheinen.

#### **5.1.4 Horizontale Diskrepanz der Randgestaltung**

Überextensionen ließen sich in unserer Kohorte bei allen Restaurationsarten und -materialien finden, bei Keramik jedoch an 30,8 % der untersuchten Stellen. Der Vergleich zu klinischen Angaben in der Literatur ist auch hier nur bedingt möglich, da kein standardisierter Index zur Erfassung von Überhängen existiert und häufig von Autoren nur der Randspalt gemessen wird.

Manche Studien greifen auf eigene Scores zurück. So bewertete etwa Karlsson 1986 die Restaurationskontur in einer klinischen Nachuntersuchung 10 Jahre nach Eingliederung anhand eines Tests mit einem Zahnstocher. Die Brücken wurden nach approximaler Ein- bzw. Durchdringtiefe beurteilt. Er kam zu dem Ergebnis, dass nur 39,7 % der keramisch verblendeten Restaurationen keine Überkontur zeigten (Karlsson, 1986).

Neuere in vitro Studien werten die Gestaltung des Randschlusses von Restaurationen mit Hilfe von Mikro-CT-Scannern aus und beurteilen dabei auch die horizontale Dimensionierung. Mostafa et al. untersuchten 2018 Lithium-Disilikatkronen, die mittels konventioneller und digitaler Methoden hergestellt wurden. Ihre Ergebnisse zeigten, dass grundsätzlich an 18,75 bis 37,67 % der untersuchten Stellen eine Überextension vorlag, unabhängig von der Versuchsgruppe. Die Überextensionen betrug durchschnittlich zwischen 28 µm und 61 µm (Mostafa et al., 2018). Boeckler et al. beschäftigten sich 2005 mit der Randgestaltung von Kronen verschiedener Materialien und dem Einfluss auf die Beurteilung der Passgenauigkeit durch Zahntechniker und Zahnärzte. Auch ihre Untersuchung mittels Lichtmikroskop ergab, dass je nach Legierung Überextensionen zwischen 40 µm und 148 µm auftraten. Gerade EMF- sowie einzelne EM-Legierungen zeigten auffallend hohe Werte. Weiterhin stellten sie fest, dass die Beurteilung einer Restauration als klinisch nicht akzeptabel vor allem von einer Überextension und weniger durch einen Randspalt beeinflusst wurde (Boeckler et al., 2005).

Zu Bedenken ist, dass die Werte unserer Studie durch die Gruppenzusammensetzungen verzerrt sind. Frontzahnrestorationen waren in der Gruppe der Keramikrestorationen mit einem Anteil von 55,56 % überrepräsentiert. In den Gruppen EMFL und EML machten Frontzahnarbeiten hingegen nur einen Anteil von 0 % bzw. 4,35 % aus. Da Frontzähne in ihrer Anatomie in der Fazielfläche häufig eine ausgeprägte Schmelz-Zement-Grenze und damit einen bukkalen Überhang zeigen, ist dieser Effekt auch bei Restaurationen zu erwarten.

Letztlich ist die Frage der Überextension in Abhängigkeit des Restaurationsmaterials somit nicht abschließend beurteilbar, obwohl sie insbesondere für die gingivale und parodontale Gesundheit eine große Rolle spielt (Ehrlich et al., 1980; Parkinson, 1976; Sorensen, 1989). Weitere, systematische Studien unter Einbeziehung weiterer Einflussfaktoren wie Zahntyp, Region, Herstellungsart, Abdruckart oder Erfahrungslevel von Zahnarzt und Zahntechniker sind notwendig.

## **5.2 Analyse der USPHS-Kriterien**

Obwohl einzelne Methoden wie beispielsweise die Untersuchung des Randschlusses nach Holmes detailliertere Angaben ermöglichen, bietet die Anwendung der USPHS-Kriterien den entscheidenden Vorteil der Vergleichbarkeit mit Daten aus der Literatur (Hickel et al., 2007; Patel et al., 2014). Aus diesem Grund wurden die USPHS-Kriterien zusätzlich gemessen und ausgewertet.

Brücken waren in unserer Studie signifikant häufiger von den USPHS-Klassen C und D für den Randschluss und Klasse C für die anatomische Form betroffen als Kronen (Randschluss: C: 10,4 % und D: 4,2 % vs. C: 2,2 % und D: 0 %, anatomische Form: 10,4 % vs. 2,2 %). Es sind allerdings nur wenige Studien zur Einordnung der Ergebnisse verfügbar.

Patel et al. konnten in ihrem bereits erwähnten Review zur Qualität von Studien, die sich mit der Beurteilung von Erfolg, Überleben und Versagen beschäftigen, zeigen, dass nur 47,2 % der Autoren standardisierte Beurteilungskriterien benutzten. Diese waren in 20,3 % der Studien USPHS- oder modifizierte USPHS-Kriterien (Patel et al., 2014).

Bei der Suche nach Vergleichsstudien zeigte sich weiterhin, dass manche Autoren zwar berichten, USPHS-Kriterien genutzt zu haben, allerdings keine Ergebnisse dazu nennen oder ausführen, wie sie die Kriterien in Erfolg und Überleben übersetzt haben (Galindo et al., 2011; Seydler et al., 2015). Andere wiederum berichteten über die Auswertung der Kriterien, machten aber keine näheren Angaben zur mittleren Beobachtungsdauer der in der Studie eingeschlossenen Restaurationen (Haselton et al., 2000).

Tanner et al. verglichen 2018 in einer Kohorte von 27 Patientinnen und Patienten 17 Zirkonkronen und 23 Zirkonbrücken nach einer durchschnittlichen Tragedauer von 5,7 Jahren. Die Studie zeigte signifikante Unterschiede zwischen Kronen und Brücken hinsichtlich des Randschlusses. Sie fanden – ähnlich wie in unserer Studie – deutlich häufiger USPHS-Klassen C und D bei Brücken als bei Kronen (13 % vs. 0 %). Das USPHS-Kriterium anatomische Form verwendeten die Autoren nicht (Tanner et al., 2018).

Sailer et al. untersuchten 2009 in einer randomisierten, prospektiven Studie 38 Zirkonbrücken und 39 metallkeramische Brücken aus einer EM-Legierung mit einer durchschnittlichen Beobachtungsdauer von 3,4 Jahren und werteten die USPHS-Kriterien Randschluss und anatomische Form aus. Es zeigte sich, dass die USPHS-Klassen C und D für den Randschluss bei Zirkon signifikant häufiger auftraten als bei metallkeramischen Brücken (16,7 % vs. 6,5 %) und die USPHS-Klasse C für die anatomische Form in beiden Gruppen nicht vorkam (Sailer et al., 2009).

In einer sehr ähnlich aufgebauten Studie kam die Arbeitsgruppe um Sailer 2018 bei einer Beobachtungsdauer von 10 Jahren mit 40 Zirkonbrücken und 36 metallkeramischen Brücken aus einer EM-Legierung zu einem ähnlichen Ergebnis. Die USPHS-Klasse C für die anatomische Form trat nicht auf, mehr Zirkonbrücken zeigten klinisch nicht mehr akzeptable USPHS-Klassen C und D für den Randschluss als metallkeramische Kronen (C: 24,14 % und D: 10,3 % vs. C: 20,83 %) (Sailer et al., 2018). Die Ergebnisse dieser Studie, insbesondere für Keramikbrücken, sind somit schlechter als die von uns gemessenen Werte. Das kann zwei mögliche Ursachen haben. Zum einen machten Keramikbrücken nur 4,2 % der Restaurationen in unserer Brückenkohorte aus, weswegen unser Ergebnis am ehesten mit dem der metallkeramischen Gruppe vergleichbar ist. Da aber auch EMF-Restaurationen in unser Ergebnis eingeschlossen waren, ist ein direkter Vergleich nur eingeschränkt möglich. Zum anderen lag die mediane

Beobachtungsdauer der Brücken in unserer Studie bei 7,95 Jahren und damit unter den 10 Jahren aus der Studie von Sailer et al.

Ein weiteres Resultat unserer Studie ist, dass EMF-Restaurationen im Vergleich zu Keramik häufiger USPHS-Klassen C und D für den Randschluss und Klasse C für die anatomische Form aufwiesen. Dieses Ergebnis widerspricht auf den ersten Blick scheinbar den Ergebnissen der Arbeitsgruppe um Sailer (Sailer et al., 2018; Sailer et al., 2009). Allerdings bestanden die metallkeramischen Brücken in ihren Studien aus einer EM-Legierung und nicht aus einer EMF-Legierung. Zu EMF-Legierungen konnten wir in der Literatur keine Studien finden, die USPHS-Kriterien nutzen. Die bereits diskutierte Auswertung ohne Anwendung der USPHS-Kriterien kommt jedoch auf ähnliche Ergebnisse. Deswegen erscheint das Ergebnis durchaus nachvollziehbar zu sein.

Im Hinblick auf Sekundärkaries zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Versorgungsformen und den Restaurationsmaterialien. Auch andere Studien fanden keinen signifikanten Zusammenhang (Haselton et al., 2000; Tanner et al., 2018).

### **5.3 Parodontale Situation**

#### **5.3.1 Taschensondierungstiefen und klinisches Attachmentlevel**

Die Taschensondierungstiefen an Restaurationen wiesen in unserer Studie generell, unabhängig vom Versorgungstyp und dem Restaurationsmaterial, signifikant höhere Messwerte auf als an natürlichen Zähnen. Damit hat der Faktor „prothetische Versorgung“ einen direkten Einfluss auf das Parodont und führt zur Ausbildung von höheren Taschensondierungstiefen.

Zu diesem Ergebnis kamen auch Autoren anderer Studien. Schon 1980 zeigte Valderhaug in einer Studie mit einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren an 114 Patientinnen und Patienten, dass es an den überkronten Zähnen zu höheren Taschensondierungstiefen und einer stärkeren Reduktion des klinischen Attachmentlevels kommt als an den ausgewählten natürlichen Vergleichszähnen. Lag der Kronenrand weiter subgingival, so war der Effekt signifikant stärker als bei supragingival gelegenen Kronenrändern (Valderhaug, 1980). In einer ähnlich aufgebauten, weiteren Studie konnte Valderhaug 1993 ein ähnliches Ergebnis für Brücken nachweisen. Sowohl der Plaqueindex als auch die Taschensondierungstiefen waren an 343 Pfeilerzähnen von 108 Brücken nach 15 Jahren signifikant höher als an Restzähnen der jeweiligen Kiefer, die als Vergleichszähne dienten. In dieser Studie fand sich allerdings kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des CAL (Valderhaug et al., 1993).

Die Arbeitsgruppe um Schätzle et al. aus Bern untersuchte 2001 in einer Longitudinalstudie über 26 Jahre Restaurationen bei 160 skandinavischen Patientinnen und Patienten und verglich sie mit dem kontralateral gelegenen, unversorgten natürlichen Zahn. Lag der Restaurationsrand weniger als 1 mm in Gingivanähe, so kam es zu einem signifikant höheren Attachmentverlust (Schätzle et al., 2001). Eine weitere Studie über einen Beobachtungszeitraum von 2 Jahren zeigte ein ähnliches Ergebnis für Einzelkronen (Gunay et al., 2000). Tarnow et al. führten 1986 eine histologische Studie zur Untersuchung dieser

Fragestellung durch. Bei acht zur Extraktion bestimmten Zähnen wurden provisorische Kronen mit subgingival endenden Kronenrändern eingegliedert. Nach 1 bis 8 Wochen wurden die Zähne extrahiert und histologisch ausgewertet. Es konnte ebenfalls beobachtet werden, dass es zur Ausbildung einer Rezession und eines weiter *apikal* gelegenen Attachments kam (Tarnow et al., 1986). Außerdem konnte anhand einer Kadaverstudie beobachtet werden, dass sowohl die Zone des Saumepithels als auch des Bindegewebsattachments bei Vorhandensein einer Restauration signifikant verbreitert war (Vacek et al., 1994).

Das CAL an Restaurationszähnen war im Vergleich zu den natürlichen Zähnen in unserer Studie nicht signifikant reduziert. Lediglich die Restaurationsmaterialien unterschieden sich hinsichtlich des CAL. Bei EM-Restaurationen lag das Attachmentlevel signifikant höher, bei Keramikrestaurationen hingegen signifikant niedriger als bei den natürlichen Zähnen. Dieser Trend ergab sich vor allem bei den Kronenversorgungen und erwies sich auch im direkten Vergleich der Restaurationsmaterialien als signifikant.

Sailer et al. untersuchten 2018 in der bereits oben erwähnten Studie nicht nur das Outcome von Zirkonbrücken im Vergleich zu metallkeramischen Brücken, sondern werteten auch die parodontale Situation beider Gruppen aus. Dabei fanden sie keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Taschensondierungstiefen und des Attachmentlevels (Sailer et al., 2018). Auch Suarez et al. konnten 2019 in einer Beobachtungsstudie über 5 Jahre mit 40 Patientinnen und Patienten und je 20 Zirkon- und 20 metallkeramischen Brücken keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Restaurationsmaterialien feststellen (Suarez et al., 2019). Gleichwohl fanden Wang et al. in einer mikrobiologischen Auswertung von Plaqueproben von 33 entzündeten und 31 entzündungsfreien Brückengliedern eine erhöhte Prävalenz eines der Parodontitis-Markerbakterien, *Prevotella intermedia*, an metallischen Brückengliedern, was ein Hinweis auf ein erhöhtes Risiko für die Progredienz einer parodontalen Erkrankung sein könnte.

Der Unterschied zu unseren Ergebnissen liegt jedoch in der Gruppenzusammensetzung der Studie begründet.

Zum einen handelte es sich bei den Keramikarbeiten überwiegend um Frontzahnarbeiten, während die EM-Restaurationen fast ausschließlich im Seitenzahnbereich lokalisiert waren. Xie et al. zeigten 2007 in einer Kadaverstudie an Kiefern von fünf chinesischen Männern, dass die Breite des Saumepithels in der Frontzahnregion mit durchschnittlich 0,99 mm signifikant schmaler ist als im posterioren Kieferabschnitt mit 1,12 mm (Xie et al., 2007). Andere Studien aus den USA weisen sogar auf noch ausgeprägtere Differenzen zwischen Frontzahn-, Prämolaren- und Molarenregion hin (1,03 mm – 1,20 mm – 1,22 mm) (Vacek et al., 1994). Dieser Unterschied führt im Vergleich zur histologischen Auswertung gerade im gesunden Parodont zu Messabweichungen von 0,5mm bis 2mm bei der Bestimmung des Attachmentlevels im Front- verglichen zum Seitenzahnbereich (Armitage et al., 1977). Zwar reduzierte die in unserer Studie genutzte elektronische Messsonde Florida Probe immerhin den Messfehler durch heterogene Sondierungskräfte des Untersuchers. Nichtsdestotrotz lassen sich Restaurationen im Front- und

Seitenzahnbereich hinsichtlich der Ausprägung des Attachmentlevels auf Grund der anatomischen Besonderheiten nur bedingt miteinander vergleichen. Um diese Messungengenauigkeit zu umgehen, wäre die Auswertung des Attachmentlevels kontinuierlich über die Zeit im Vergleich zum Attachmentlevel vor Eingliederung der Krone geeignet.

Zum anderen lag das mediane Restorationsalter der Keramikrestorationen ungefähr 2 Jahre unter dem der EM-Restorationen. Da der Faktor Restauration somit kürzer auf das Parodont eingewirkt hat, ist eine geringere Ausprägung eines Attachmentverlusts zu erwarten. Das erschwert den direkten Vergleich der beiden Gruppen zusätzlich.

Betrachtet man das Ergebnis unserer Regressionsanalyse zu den Einflussfaktoren auf die Ausprägung von TST und CAL, so fanden sich genau diese Punkte als signifikante Einflussgrößen wieder. Die Region der Versorgung und das Patienten- und Restorationsalter beeinflussten die Ausprägung der Differenzen maßgeblich.

### **5.3.2 Rezessionen**

In unserer Studie stellten sich Rezessionen vor allem bei Keramikrestorationen und hier insbesondere bei Keramikkrone als signifikant niedriger verglichen mit den natürlichen Vergleichszähnen dar. Auch im Vergleich der Materialien zeigte das Material Keramik signifikant geringere Rezessionen. Neben dem erwähnten histologischen Hinweis auf die Ausbildung einer Rezession durch das Inserieren einer Krone (Tarnow et al., 1986), finden sich in der Literatur nur wenige, vergleichende Auswertungen zur Rezessionsentstehung im Rahmen einer prothetischen Behandlung. Viele Autoren beschränken sich auf die Messung von TST und CAL oder vergleichen das Ergebnis der Restauration mit nur einem kontralateralen natürlichen Zahn. Diese zwar sehr praxistaugliche, ressourcensparende und beliebte Testmethode ist jedoch mit einem erheblichen Bias behaftet und führt zu einer deutlichen Unterschätzung der parodontalen Situation (Kingman et al., 2008; Owens et al., 2003). Diesen Umstand kritisierte auch Knoernschild 2000 in einem Review (Knoernschild et al., 2000).

So unterschieden sich in der Studie von Saleh Samer et al. 2018 die Rezessionen an 47 Patientinnen und Patienten mit 88 Lithium-Disilikat-Einzelkronen nicht signifikant verglichen mit einem kontralateralen natürlichen Zahn (Saleh Samer et al., 2018). Die Arbeitsgruppe um Koke versorgte 11 parodontal gesunde Patientinnen und Patienten mit 44 Front- und Prämolaren-Einzelkronen und verfolgte über einen Zeitraum von 12 Monaten parodontale Parameter, jeweils im Vergleich zu einem natürlichen Vergleichszahn. In der statistischen Analyse konnte gezeigt werden, dass das Eingliedern einer Krone der Hauptfaktor für die Entstehung eines Attachmentverlusts und einer Rezession war, ohne allerdings verschiedene Restaurationsmaterialien zu überprüfen. Darüber hinaus lagen zum Zeitpunkt der Eingliederung des Zahnersatzes nur noch 82 % der eigentlich subgingival angelegten Präparationsgrenze auch tatsächlich noch subgingival (Koke et al., 2003). In der Zeit zwischen Präparation und Eingliederung kam es offensichtlich ebenfalls schon zur Ausbildung von Rezessionen. Die Ausprägung einer Rezession muss somit von weiteren, anderen Faktoren abhängen.

Paniz et al. demonstrierten 2016, dass bereits das Design der Präparationsgrenze eine große Rolle spielt. Bei der Präparation von 200 Zähnen zur Aufnahme einer adhäsiv befestigten Zirkonkrone wurden 106 Stümpfe mit einer Hohlkehle beschliffen, 94 mit einem Federrand. Nach 12 Monaten zeigten die Restaurationen mit Federrand signifikant höhere Werte für das BOP und Rezessionen (Paniz et al., 2016). Neben dem Design ist die Lage der Präparationsgrenze von Bedeutung. Eine Studie konnte mittels einer *Odds Ratio* demonstrieren, dass eine subgingivale Positionierung der Präparationsgrenze und damit des Kronenrandes das Risiko für die Entstehung einer Rezession um den Faktor 2,65 erhöht (Orkin et al., 1987).

Auch die Abformmethode beeinflusst die Entstehung von Rezessionen. Kommt ein Faden zum Einsatz, so ist es signifikant wahrscheinlicher, dass sich eine Rezession ereignet. Nichtsdestotrotz gelingt die Darstellung der Präparationsgrenze für den Zahntechniker deutlich besser als in der Vergleichsgruppe, in der nur Aluminiumchloridpaste zur Retraktion der Gingiva benutzt wurde (Einarsdottir et al., 2018).

Da diese Faktoren bei unserer Datenerhebung anhand der Patientenakten nicht nachvollzogen werden konnten, ist es schwer, die unterschiedliche Ausprägung der Rezessionen allein auf den Faktor Restaurationsmaterial zurückzuführen. Auch die oben bereits erwähnte unterschiedliche Gruppenzusammensetzung erschwert den Vergleich zwischen den Restaurationsmaterialien zusätzlich.

### **5.3.3 gingivales Entzündungsniveau**

In unserer Studie ergaben sich signifikante Unterschiede in der Verteilung des Sulkus-Blutungs-Indexes hinsichtlich des Versorgungstyps und des Restaurationsmaterials. Restaurationen aus EMFL hatten in unserer Studie ein höheres Entzündungsniveau der Gingiva. Verstärkt wurde dieser Effekt durch eine große Restaurationsspannweite sowie das Vorliegen eines Überhangs im vestibulären oder oralen Restaurationsanteil.

Ähnlich wie auch die Erhebung von Rezessionen erfolgt die Auswertung des Entzündungsniveaus nur in wenigen Studien, und dann zumeist im Vergleich zu einem kontralateral gelegenen natürlichen Zahn. Auch die Wahl der Testindizes ist sehr verschieden. Manche Studien erheben das BOP, manche den Papillen-Blutungs-Index, wieder andere den Gingiva-Index oder den Sulkus-Blutungs-Index. Durch diese Umstände ist ein Vergleich unserer Ergebnisse mit Werten aus der Literatur nur eingeschränkt möglich.

Die Arbeitsgruppe um Sailer et al. wertete in den beiden bereits erwähnten Studien auch das BOP an den Testzähnen und an einem Vergleichszahn aus. Dabei unterschieden sich Zirkon- und metallkeramischen Brücken nach 10 Jahren (Sailer et al., 2018) und Zirkonkronen und -brücken nach 3 Jahren Beobachtungsdauer (Sailer et al., 2009) nicht signifikant. Tanner et al. fanden 2018 im Vergleich von Zirkonkronen und -brücken ebenfalls keinen signifikanten Unterschied des BOP (Tanner et al., 2018). Auch die Arbeitsgruppen um Marklund et al. und Walter et al. konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen Titan- und EM-Restaurationen feststellen (Marklund et al., 2003; Walter et al., 2001), und auch für Dicor-Kronen unterschied sich das BOP an

Restaurationen nicht signifikant von einem natürlichen Vergleichszahn (Sjögren et al., 1999). Restaurationen oder verschiedene Materialien scheinen also nicht per se mit einer stärkeren gingivalen Blutung als Zeichen einer gingivalen Entzündung assoziiert zu sein.

Neuere Erkenntnisse in der Pathogenese der Gingivitis und Parodontitis legen den Schluss nah, dass die gingivale Entzündung nicht als direkte Folge einer Restaurationseinwirkung entstehen kann. Zwar gibt es vereinzelt Hinweise aus in vitro Studien, dass aus Legierungen gelöste Ionen wie Zink, Kupfer oder Nickel einen zytotoxischen Effekt auf Fibroblasten haben können (Elshahawy et al., 2009) oder an der Entstehung von Gingivahyperplasien beteiligt sein können (Gursoy et al., 2007), jedoch wird dieser Effekt nicht als Hauptgrund angesehen. Vielmehr wird die gingivale Entzündung durch eine unspezifische Plaqueansammlung initiiert, in deren Folge es zur Veränderung des subgingivalen Milieus kommt, die die Vermehrung von parodontopathogenen Bakterien begünstigt (Bartold et al., 2017; Bartold et al., 2013). Somit stellen vor allem Plaqueretentionsstellen einen Hauptrisikofaktor für die gingivale Entzündung und die sich daraus unter Umständen entwickelnde Parodontitis dar.

Morris untersucht 1989 im Rahmen der Veterans Administration Cooperative Studies in einem Fünfjahresbericht das Plaquelevel von fast 800 Restaurationen aus verschiedenen Legierungen. Zu den Arbeiten gehörten verblendete und unverblendete EM- und EMF-Legierungen. Sie wurden im Vergleich untereinander und im Vergleich zu jeweils einem natürlichen, unversorgten Zahn erfasst. Er fand weder in der Plaqueansammlung zwischen den verschiedenen Legierungen noch im Vergleich zu den natürlichen Zähnen signifikante Unterschiede (Morris, 1989). Ein Zusammenhang zwischen dem Restaurationsmaterial und der Plaqueakkumulation kann somit nicht direkt hergestellt werden.

Vielmehr können im Prozess der Anfertigung und Eingliederung von Restaurationen Umstände unabhängig des Restaurationsmaterials entstehen, die die Anhaftung von Plaque begünstigen können.

Valderhaug konnte in der bereits erwähnten longitudinalen Studie 1993 zeigen, dass die Lage des Kronenrandes eine große Rolle spielt, da das Entzündungsniveau bei subgingival endenden Kronenrändern deutlich erhöht war (Valderhaug et al., 1993). Subgingival endende Kronenränder sind herausfordernd, da sie mit den täglich durchgeführten Mundhygienemaßnahmen nicht zuverlässig erreicht werden können. Die Arbeitsgruppe um Reichen-Graden et al. und Bader et al. konnten in ähnlichen Untersuchungen dieses Ergebnis bestätigen. Im Vergleich zu supragingivalen Kronenrändern war das Entzündungsniveau der angrenzenden Gingiva bei subgingival endendem Kronenrand stets signifikant erhöht (Bader et al., 1991; Reichen-Graden et al., 1989). Orkin et al. berechneten in ihrer Studie anhand der *Odds Ratio* gar ein 2,42-fach häufigeres Auftreten einer Blutung als Zeichen einer gingivalen Entzündung bei subgingivaler Kronenrandlage (Orkin et al., 1987).

Ferner legen weitere Studien den Schluss nah, dass die Breite des Randspaltes direkten Einfluss auf das Entzündungsniveau hat. Felton et al. nahmen Silikonabdrücke des bukkalen, subgingival lokalisierten Kronenrandes von 42

Kronen, die sie unter dem Rasterelektronenmikroskop auswerteten. Die Breite des Randspaltes korrelierte dabei direkt mit der Höhe der klinisch gemessenen Werte des Gingiva-Indexes. Ein größerer Randspalt führte zu einer stärker entzündeten Gingiva (Felton et al., 1991).

Lang et al. demonstrierten 1983 in einer *Cross-Over* Studie den Einfluss eines Restaurationsüberhangs auf das Parodont bzw. die Gingiva. Fünf Studierende, die zu Studienbeginn keine Zeichen für eine parodontale Erkrankung aufwiesen, wurden mit einem mod-*Inlay* aus Gold versorgt. Die erste Gruppe erhielt zunächst ein *Inlay* mit einem perfekten Restaurationsrand, nach einer Tragedauer von 19 bis 27 Wochen wurde das *Inlay* ausgetauscht und ein *Inlay* mit einem Überhang eingesetzt. In der zweiten Gruppe wurde der Versuch in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt. Wurde der Restaurationsüberhang eingegliedert, so etablierte sich sehr schnell ein Mikrobiom, das dem einer chronischen Parodontitis entspricht und der Gingiva-Index stieg signifikant an. Nach dem Austausch gegen das perfekt sitzende *Inlay* kam es zur vollständigen Remission hin zur parodontalen Gesundheit. Ein Attachmentverlust wurde im Beobachtungszeitraum nicht festgestellt. Ein Restaurationsüberhang konnte somit direkt mit einer gingivalen Entzündung assoziiert werden (Lang et al., 1983). Ein ähnliches Ergebnis erzielte die Arbeitsgruppe um Highfield et al. 1978. In ihrer Studie kam es nach der Entfernung von Überhängen von Amalgamrestorationen ebenfalls zu einer signifikanten Reduktion der gingivalen Inflammation (Highfield et al., 1978).

Gesteigert wurde der Effekt durch eine Intensivierung der Plaquekontrolle im häuslichen und zahnärztlichen Umfeld (Highfield et al., 1978). Damit arbeiteten sie einen weiteren wichtigen Baustein in der Ausprägung einer gingivalen Entzündung heraus: die Qualität und Quantität der durchgeführten Mundhygienemaßnahmen zur Plaqueentfernung.

Die Qualität der Mundhygienemaßnahmen wird durch die Hygienefähigkeit der Restaurationen maßgeblich beeinflusst. Vor allem die Gestaltung der Brückenglieder sind zu beachten. Silness zeigte bereits 1970 in einer Studie an 162 Flächen von Brückengliedern, dass Bereiche, die auf Grund der Form der Zwischenglieder einer häuslichen Mundhygiene durch Zahnseide oder Zahnzwischenraumbürstchen nicht zugänglich sind, ein erhöhtes Entzündungsniveau der Gingiva aufweisen (Silness, 1970).

Diskutiert wird auch ein Zusammenhang von sozioökonomischen Einflussfaktoren auf die Qualität der Mundhygiene und der Prävalenz oraler Erkrankungen wie Karies und Parodontitis. Während ein Consensus-Bericht einer Arbeitsgruppe der European Federation of Periodontology gemeinsam mit der European Organisation for Caries Research zu dem Schluss kam, dass ein Zusammenhang besteht (Jepsen et al., 2017), sahen andere Autoren in Reviews auf Grund einer zu heterogenen Datenlage keinen klaren Nachweis (Boillot et al., 2011; Klinge et al., 2005). Bedenkt man, dass EMF-Restaurationen in Deutschland die von der Krankenkasse vorgesehene Regelversorgung darstellen und für die Patientinnen und Patienten im Allgemeinen mit geringeren Kosten verbunden sind, so kann davon ausgegangen werden, dass EMF-Restaurationen verglichen zu Arbeiten aus einer EML oder Keramik in unteren sozioökonomischen Bevölkerungsgruppen überrepräsentiert sind. Daher lässt

sich vermuten, dass - zumindest in Deutschland - auch das sozioökonomische Profil einen indirekten Einfluss auf das gingivale Entzündungsniveau haben könnte.

Eine weitere Einflussgröße für die Plaqueretention stellt die Oberflächenbeschaffenheit von Restaurationen bzw. oralen Strukturen dar. Schon sehr früh konnte demonstriert werden, dass eine durch Präparation mit einem Diamantbohrer aufgeraute Zahnoberfläche durch eine vermehrte Plaqueanlagerung zu einer häufigeren und stärkeren Gingivaentzündung führt (Waerhaug, 1956). Unterhalb eines Schwellen-Mittenrauwert  $R_a$  von  $0,2 \mu\text{m}$  kommt es zu keiner weiteren Reduktion, darüber jedoch zu einem deutlichen Anstieg der Plaqueanlagerung (Bollen et al., 1997). Dieser Wert kann etwa für das Material EML gut erreicht werden, durch zahnärztliche Prophylaxemaßnahmen jedoch ansteigen. Die Anwendung einer Kürette führte beispielsweise zu einem Mittenrauwert von  $7,87 \mu\text{m}$ , der Einsatz eines Cavitrons gar zu einem Mittenrauwert von  $55,50 \mu\text{m}$  (Bollen et al., 1997; Cutler et al., 1995).

Viele dieser Einflussgrößen konnten in unserer Studie auf Grund der fehlenden Daten aus den Patientenakten leider nicht erhoben werden. Nichtsdestotrotz zeigte die lineare Regressionsanalyse einen signifikanten Einfluss auf die Differenz des SBI zwischen Restaurationen und natürlichen Zähnen für die Faktoren Überhang und Restaurationsausdehnung. Auch die Materialgruppe EMFL erwies sich als signifikante Einflussgröße, was auf das signifikant gehäufte Auftreten von Randspalten bei EMF-Restaurationen in unserer Studie zurückgeführt werden kann.

Letztlich sind weitere, randomisierte kontrollierte klinische Studien unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen und Anwendung standardisierter Verfahren und Kriterien notwendig, um die Auswirkungen verschiedener Versorgungstypen und Restaurationsmaterialien abschließend und vergleichbar zu klären.

#### 5.4 Limitationen der Studie und Methodenkritik

Das bereits erwähnte Review der Arbeitsgruppe um Patel zeigte 2014 eindrucksvoll, dass es in der Literatur zwar eine Vielzahl von Studien gibt, die sich mit der Beurteilung von Erfolg, Überleben und Versagen von Kronen, Brücken und *Onlays* beschäftigen, wies aber gleichzeitig auf grundlegende Probleme hin. Viele dieser Studien zeigen methodische Schwächen, die vor allem durch zwei Punkte bedingt sind.

Zum einen definieren nur wenige Autoren ihre Kriterien für Erfolg, Überleben oder Versagen, und es existiert auch keine standardisierte Definition (Patel et al., 2014). Gerade in der Erfolgsanalyse kann das das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Zumeist wird – wie auch in unserer Studie – Erfolg bestimmt als das Fehlen jeglicher Komplikation. Je mehr Parameter allerdings als Komplikation untersucht werden, desto wahrscheinlicher ist, dass eine Restauration nicht mehr gänzlich komplikationsfrei und damit definitionsgemäß erfolgreich ist. Übersichtsarbeiten berechnen aus diesem Grund die jährlichen Fehlerraten für einzelne Komplikationsformen, um die Studien besser vergleichbar zu machen (Pjetursson et al., 2015; Sailer et al., 2015; Sailer et al., 2018). Diese robuste Berechnungsmethode wurde auch in unserer Studie eingesetzt.

Zum anderen nutzten nur 47,2 % der von Patel et al. ausgewerteten Studien standardisierte Beurteilungskriterien für den Zustand der Restaurationen, von dem die Komplikationen abgeleitet werden. Von den Studien, die standardisierte Kriterien nutzten, griffen 20,3 % auf die USPHS- oder modifizierte USPHS-Kriterien zurück (Patel et al., 2014). Auch wir entschieden uns für den Einsatz dieser Kriterien, um eine Vergleichsgrundlage mit Literaturergebnissen zu schaffen.

Indes ist diese Problematik ebenfalls in der Beurteilung von direkten zahnärztlichen Materialien im Rahmen der Füllungstherapie bekannt und Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. In einer Empfehlung zur Durchführung klinischer Studien über Restaurationsmaterialien kam eine Arbeitsgruppe der FDI World Dental Federation zu dem Schluss, dass die USPHS-Kriterien zu einer Zeit entwickelt worden seien, als Restaurationen noch nicht so langlebig waren. Mit der Entwicklung hin zu langlebigeren Materialien mit neuen Eigenschaften und Indikationsgebieten sei es notwendig, einen neuen Kriteriensatz zu schaffen, der mit den sogenannten FDI-Kriterien auch vorgeschlagen wird (Hickel et al., 2007). Ein Review zeigt, dass in den letzten Jahren die Zahl der Studien über direkte Restaurationsmaterialien, die diese Kriterien nutzen, zunimmt (Marquillier et al., 2018). Da diese Kriterien nur bedingt zur Beurteilung indirekter Restaurationen geeignet sind, ist die Weiterentwicklung und Anpassung hin zu einem eigenen, standardisierten Kriteriensatz für die Beurteilung direkter Restaurationen mehr als wünschenswert. Freilich können, wie Hickel et al. auch selbst schreiben, die FDI-Kriterien dabei als Grundlage dienen.

Als weiteres Problem im Vergleich der Studien zeigte sich, dass die angewendeten Methoden oftmals sehr verschieden sind und zum Teil mit einem großen  $\alpha$ -Fehler behaftet sind, was die Gefahr eines Testbias erhöht. Das lässt

sich insbesondere bei der parodontologischen Beurteilung beobachten. Wie schon Knoernschild 2000 in einem Review darlegt, ist das häufig praktizierte Heranziehen eines kontralateralen natürlichen Zahns als Kontrollgruppe mit einem großen Bias behaftet (Knoernschild et al., 2000). Owens et al. zeigten an 92 Patientinnen und Patienten, dass beispielsweise die Erhebung von nur zwei statt sechs Sondierungsstellen pro Zahn im gesamten Mund zwecks Zeitersparnis mit einem erheblichen Fehler einhergeht und zu Verzerrungen in der Auswertung führen kann (Owens et al., 2003). Eine ähnliche Untersuchung an 1437 Patientinnen und Patienten demonstrierte, dass mit der Erhebung parodontaler Werte an sechs Stellen pro Zahn in einer Hälfte des Mundes oder nach dem Protokoll vom Ramfjord akzeptable Fehler mit einem Bias von unter 3 % möglich sind, noch weniger Teststellen jedoch zu einem erheblichen Fehler führen (Kingman et al., 2008). Aus diesem Grund entschieden wir uns, die Vergleichszähne nach dem Schema von Ramfjord auszuwählen.

Auch die Messung der Taschensondierungstiefen hat sich in der Literatur als sehr fehleranfällig herausgestellt. Die European Federation of Periodontology (EFP) hält im Ergebnis des World Workshop 2017 gemeinsam mit der American Association of Periodontology (AAP) fest, dass die Sondierungskraft beim Sondieren zur Wahrung einer Reproduzierbarkeit 0,25 N nicht überschreiten sollte (Trombelli et al., 2018). Untersuchungen zeigen jedoch, dass es in der Praxis zu starken Abweichungen und starken Überschreitungen der tatsächlichen Sondierungskraft und infolgedessen zu Messungenauigkeiten kommt (Hassell et al., 1973). Zur Minimierung dieses Fehlers wurden elektronisch-mechanische Parodontometer entwickelt, die das Überschreiten von 0,25 N Sondierungskraft verhindern und so zu reproduzierbareren Ergebnissen führen (Osborn et al., 1990; Osborn et al., 1992). Das in der vorliegenden Studie eingesetzte System Florida Probe gehört zu diesen elektronischen Systemen.

Darüber hinaus kann auch die Zusammensetzung des Probandenkollektivs zu einem erheblichen Selektionsbias führen. Hickel et al. führen in dem bereits erwähnten Bericht der FDI-Arbeitsgruppe aus, dass es in vielen Studien zu Mängeln unter anderem hinsichtlich Patientenselektion, der Gruppenbildung und deskriptiven Angaben kommt, die die Vergleichbarkeit und Auswertung in Metaanalysen nahezu unmöglich machen (Hickel et al., 2007).

Um den Selektionsbias zu verringern, wird aus diesem Grund eine randomisierte Auswahl von Probandinnen und Probanden aus einem größeren Kollektiv gefordert. Diese führten wir, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, ebenfalls durch. In der deskriptiven Auswertung der untersuchten Patientinnen und Patienten ergab sich allerdings, dass die Keramikarbeiten hauptsächlich aus Frontzahn-Einzelkronen bestehen, während es sich bei den metallkeramischen Arbeiten zu über 90 % um Seitenzahnrestorationen handelt.

Dieser Unterschied liegt in der Indikationsstellung begründet. Der Großteil der Keramikrestorationen in unserer Studie wurde vor 2010 angefertigt, da als Einschlusskriterium ein Mindestalter von 5 Jahren gefordert wurde. Zu diesem Zeitpunkt waren Keramikrestorationen vor allem für den Frontzahnbereich indiziert (Land et al., 2010). Aus diesem Grund ist der Vergleich der Keramik-

Gruppe mit den Gruppen der EMF- und EM-Restaurationen mit Vorsicht zu betrachten.

Ein weiteres Ergebnis unserer deskriptiven Analyse ist, dass in den Patientenakten häufig keine präzisen Angaben zum Restaurationsmaterial vorhanden waren. Daher entschieden wir uns, die Arbeiten in den drei Gruppen EMFL, EML und Keramik zusammenzufassen.

Die Materialien EMFL und EML weisen innerhalb der verschiedenen Legierungen ähnliche Eigenschaften auf und bilden eine recht homogene Gruppe, weshalb sie auch in der Literatur oft zu den metallischen oder metallkeramischen Restaurationen zusammengefasst werden. Keramiken unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften recht deutlich. Daher sind auch die Messergebnisse der Keramikgruppe mit einem gewissen Bias behaftet.

Des Weiteren führen Hickel et al. aus, dass häufig nicht alle Faktoren mit Einfluss sowohl auf die unabhängigen als auch die abhängigen Variablen, sogenannte *confounding factors*, erfasst werden (Hickel et al., 2007). Wir identifizierten im Vorfeld anhand der Literatur wichtige Einflussfaktoren. Burke et al. zeigten 2007 in einer Auswertung von Daten des General Dental Services in England Wales für einen Zeitraum von 10 Jahren mit 47474 Einzelkronen, dass unter anderem auch sozioökonomische Faktoren wie der Versicherungsstatus und das Einkommen der Patientinnen und Patienten, die *Recall*-Häufigkeit und der Erfahrungsgrad des Behandlers einen deutlichen Einfluss auf das Überleben bzw. das Entstehen von Komplikationen haben (Burke, 2007). Gerade der Erfahrungsgrad des Behandlers bzw. der Behandlerin konnte in den Patientenakten nicht eindeutig nachvollzogen werden, sodass die in die Studien eingeschlossenen Restaurationen sowohl von Studierenden als auch von erfahrenen Zahnärztinnen und Zahnärzten angefertigt wurden.

Schlussendlich ist darauf hinzuweisen, dass die für diese Studie gewählte Form der retrospektiven Kohortenstudie zwar eine in der Literatur für die prothetischen Erfolgs- und Überlebensanalyse sehr beliebte Studienform ist, allerdings einige grundlegende Möglichkeiten für einen Bias mit sich bringt.

Zum einen lässt sich nur ungefähr bestimmen, wann ein Ereignis im Sinne einer Komplikation aufgetreten ist. Der Zeitraum lässt sich maximal eingrenzen auf die Zeit zwischen letztem *Recall*-Termin und Untersuchungstag. Zum anderen führt diese Form der Beobachtung dazu, dass überwiegend jüngere Restaurationen in der Kohorte zu finden sind. Der Großteil der Restaurationen mit weiter zurückliegendem Eingliederungsdatum kommt beispielsweise nicht mehr zum *Recall*, ist verzogen, hat den Behandler gewechselt oder die Restauration ist gar nicht mehr in situ. Um die heterogene Altersstruktur zu berücksichtigen, griffen wir daher, wie auch in Reviews üblich (Pjetursson et al., 2015; Sailer et al., 2015; Sailer et al., 2018), auf die robustere Methode der jährlichen Komplikationsrate zurück.

Die in diesem Zusammenhang häufig geforderten prospektiven randomisierten kontrollierten Studien (RCTs) (Hickel et al., 2007; Patel et al., 2014) stellen sicherlich das beste Studiendesign zum Aufdecken von klaren Zusammenhängen dar, sind aber gerade mit Hinblick auf die notwendige

Beobachtungsdauer von 10 oder mehr Jahren für indirekte Restaurationen auch mit Problemen verbunden, wie Thomas Frieden, ehemaliger Direktor des amerikanischen Centers for Disease Control and Prevention (CDC), in einem Review schreibt. Die *Drop-Out-Quote* ist bei so langen Studiendauern sehr hoch, zudem lässt sich ein Altersbias, hier vor allem für die Progredienz von Karies und Parodontitis, nicht vermeiden. Darüber hinaus sind die Ergebnisse einer solch kontrollierten, im universitären Umfeld durchgeführten Studie nur sehr schwer auf den (zahnärztlichen) Praxisalltag zu übertragen (Frieden, 2017).

Daher haben retrospektive Kohortenstudien durchaus eine Berechtigung. Ein Cochrane-Review konnte nachweisen, dass das RCTs und gut durchgeführte retrospektive Kohortenstudien oftmals zum gleichen Ergebnis kommen (Anglemyer et al., 2014). Erforderlich wäre, ein Studiendesign zu finden, in dem alle vorab identifizierten relevanten Risikofaktoren eingeschlossen sind. Da es im Falle der Überlebens- bzw. Erfolgsbeobachtung von indirektem Zahnersatz, angefangen von Patientenfaktoren wie etwa dem sozioökonomischen Status, Allgemeinerkrankungen, Ernährung, Mundhygiene, Kariesrisiko über Faktoren im Rahmen der Präparation wie beispielsweise Substanzabtrag, Lage der Präparationsgrenze, Winkel der koronalen Präparation bis hin zu Faktoren im Labor wie der Legierungszusammensetzung, Materialverarbeitung oder Politur, sehr viele sind, wird eine solche Studie einen sehr großen Umfang haben und kann nur multizentrisch in Zusammenarbeit vieler Gesellschaften bzw. Universitätsstandorte gelingen.

## 6 Schlussfolgerung

Als Ergebnis dieser Studie lässt sich - innerhalb der methodischen Limitation – festhalten, dass Brücken häufiger von Komplikationen betroffen sind als Kronen. Diese Komplikationen sind vor allem ein inadäquater Randschluss und Verblendfrakturen. Auch beim Restaurationsmaterial EMFL finden sich mehr Komplikationen als bei den Materialien EML und Keramik. Hier sind es vor allem Randspalte. Da immerhin 26,4% aller in der Studie untersuchten Stellen hinsichtlich des Randschlusses nicht ideal gestaltet waren, sollte sowohl im zahntechnischen als auch im klinischen Kontext bei der Anprobe und Eingliederung einer Restauration ein Fokus auf einen korrekten Randschluss gerichtet werden.

Nichtsdestotrotz weisen alle Restaurationen nach 6 Jahren sehr gute und nach 10 Jahren mit Ausnahme von EMF-Arbeiten und Brücken gute Erfolgsraten auf. Bei der Planung von Brücken sollte das höhere Komplikationsrisiko stets bedacht werden. Alternative Versorgungsformen wie der Lückenschluss mit implantatgetragenen Einzelkronen sollten unter Berücksichtigung der individuellen klinischen Situation stets in Erwägung gezogen werden. Letztlich sollte die Entscheidung als informierter Konsens gemeinsam mit den Patientinnen und Patienten getroffen werden.

Parodontologisch zeigt sich, dass der Faktor Restauration grundsätzlich mit erhöhten Taschensondierungstiefen einhergeht und damit als parodontales Risiko angesehen werden kann. Insbesondere das Restaurationsmaterial EMFL weist eine erhöhtes gingivales Entzündungsniveau auf. Zur Risikoreduzierung sollte der Restaurationsrand bestenfalls supragingival liegen und ohne Überhang gestaltet werden. Auch auf eine glatte Materialoberfläche und eine hygienefähige Gestaltung der Brückenzwischenglieder sollte geachtet werden, um Plaqueretentionsstellen zu vermeiden. Eine wesentliche Bedeutung kommt der engmaschigen und regelmäßigen Nachsorge sowie den häuslichen Mundhygienemaßnahmen zu. Sie halten das Plaque- und damit das Entzündungsniveau gering. So kann die Entstehung bzw. Progredienz oraler Krankheiten vermieden werden.

Auf Grund der methodischen und statistischen Herausforderungen sind auch künftig weitere, umfangreiche Studien erforderlich. Hierbei gilt es insbesondere, Erfolg und Überleben klar zu definieren, standardisierte und evidenzbasierte Untersuchungsmethoden anzuwenden und alle bekannten *confounding factors* zu erfassen und zu berücksichtigen. Auch ein Bias durch die Zusammensetzung der Kohorte sollte ausgeschlossen werden. Nur so können Erfolg und Überleben verschiedener Versorgungstypen und Restaurationsmaterialien im Vergleich suffizient beurteilt werden. Dieses Forschungsfeld wird durch die Verschiebung der Prävalenz oraler Krankheiten immer wichtiger. Es kommt auch im Alter durch eine stetige Verbesserung der Mundgesundheit immer seltener zu Zahnverlust. Dadurch gewinnt die Versorgung von natürlichen Zähnen mit festsitzendem Zahnersatz in Zukunft weiter an Bedeutung.

## 7 Literaturverzeichnis

Alghaithy RA and Qualtrough AJ: Pulp sensibility and vitality tests for diagnosing pulpal health in permanent teeth: a critical review. *Int Endod J.* **2017**;50:135-142.

American Dental Association. ANSI/ADA Specification No. 8 for zinc phosphate cement. *Guide to Dental Materials and Devices.* Chicago: American Dental Association; 1970-1971.

American Dental Association: Classification system for cast alloys. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *Journal of the American Dental Association* (1939). **1984**;109:766.

American Dental Association: Revised ANSI/ADA specification no. 5 for dental casting alloys. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *Journal of the American Dental Association* (1939). **1989**;118:379.

American Dental Association: Updated ADA recommendations on dental x-rays. *Journal (Canadian Dental Association).* **2013**;79:d7.

Anglemyer A, Horvath HT and Bero L: Healthcare outcomes assessed with observational study designs compared with those assessed in randomized trials. *The Cochrane database of systematic reviews.* **2014**:MR000034.

Ante IH: The fundamental principles of abutments. *Michigan State Dental Society Bulletin.* **1926**;8:14-23.

Armitage GC, Svanberg GK and Loe H: Microscopic evaluation of clinical measurements of connective tissue attachment levels. *Journal of clinical periodontology.* **1977**;4:173-190.

Bader JD, Rozier RG, McFall WT, Jr. and Ramsey DL: Effect of crown margins on periodontal conditions in regularly attending patients. *The Journal of prosthetic dentistry.* **1991**;65:75-79.

Bajraktarova-Valjakova E, Korunoska-Stevkovska V, Kapusevska B, Gigovski N, Bajraktarova-Misevska C and Grozdanov A: Contemporary Dental Ceramic Materials, A Review: Chemical Composition, Physical and Mechanical Properties, Indications for Use. *Open Access Maced J Med Sci.* **2018**;6:1742-1755.

Bartold PM and Van Dyke TE: Host modulation: controlling the inflammation to control the infection. *Periodontol 2000.* **2017**;75:317-329.

Bartold PM and Van Dyke TE: Periodontitis: a host-mediated disruption of microbial homeostasis. *Unlearning learned concepts. Periodontol 2000.* **2013**;62:203-217.

Becker M: The Valsiarosa Gold Dental Appliance: Etruscan Origins for Dental Prostheses. *Etruscan Studies.* **1999**;6:43-73.

- Beddis HP, Ridsdale L, Chin JS and Nixon PJ: An audit of the quality of base metal cast restorations provided within the restorative department of a UK dental institute. *British dental journal*. **2014**;217:E11.
- Bernal G, Jones RM, Brown DT, Munoz CA and Goodacre CJ: The effect of finish line form and luting agent on the breaking strength of Dicor crowns. *The International journal of prosthodontics*. **1993**;6:286-290.
- Berthold C, Holst S, Schmitt J, Goellner M and Petschelt A: An evaluation of the Periotest method as a tool for monitoring tooth mobility in dental traumatology. *Dent Traumatol*. **2010**;26:120-128.
- Beschmidt SM and Strub JR: Evaluation of the marginal accuracy of different all-ceramic crown systems after simulation in the artificial mouth. *Journal of oral rehabilitation*. **1999**;26:582-593.
- Boeckler AF, Stadler A and Setz JM: The significance of marginal gap and overextension measurement in the evaluation of the fit of complete crowns. *J Contemp Dent Pract*. **2005**;6:26-37.
- Boillot A, El Halabi B, Batty GD, Range H, Czernichow S and Bouchard P: Education as a predictor of chronic periodontitis: a systematic review with meta-analysis population-based studies. *PLoS One*. **2011**;6:e21508.
- Bollen CM, Lambrechts P and Quirynen M: Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater*. **1997**;13:258-269.
- Borges BC, de Souza Borges J, de Araujo LS, Machado CT, Dos Santos AJ and de Assuncao Pinheiro IV: Update on nonsurgical, ultraconservative approaches to treat effectively non-cavitated caries lesions in permanent teeth. *European journal of dentistry*. **2011**;5:229-236.
- Brägger U, Hirt-Steiner S, Schnell N, Schmidlin K, Salvi GE, Pjetursson B, Matuliene G, Zwahlen M and Lang NP: Complication and failure rates of fixed dental prostheses in patients treated for periodontal disease. *Clinical Oral Implants Research*. **2011**;22:70-77.
- Burke FJT: Four year performance of dentine-bonded all-ceramic crowns. *British dental journal*. **2007**;202:269-273.
- Burke FJT and Lucarotti PSK: Ten-year outcome of crowns placed within the General Dental Services in England and Wales. *Journal of Dentistry*. **2009**;37:12-24.
- Burt BA, Baelum V and Fejerskov O. The epidemiology of dental caries. In: O. Fejerskov, B. Nyvad and E. A. Kidd, editors. *Dental Caries: The Disease and its Clinical Management*. 3rd ed: Wiley-Blackwell; 2015.

- Canay S and Oktemer M: In vitro corrosion behavior of 13 prosthodontic alloys. Quintessence international (Berlin, Germany : 1985). **1992**;23:279-287.
- Carounanidy U and Sathyanarayanan R: Dental caries: A complete changeover (Part II)- Changeover in the diagnosis and prognosis. J Conserv Dent. **2009**;12:87-100.
- Carounanidy U and Sathyanarayanan R: Dental caries: A complete changeover, PART III: Changeover in the treatment decisions and treatments. J Conserv Dent. **2010**;13:209-217.
- Contrepolis M, Soenen A, Bartala M and Laviolle O: Marginal adaptation of ceramic crowns: a systematic review. The Journal of prosthetic dentistry. **2013**;110:447-454 e410.
- Cutler BJ, Goldstein GR and Simonelli G: The effect of dental prophylaxis instruments on the surface roughness of metals used for metal ceramic crowns. The Journal of prosthetic dentistry. **1995**;73:219-222.
- Cvar JF and Ryge G: Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971. Clinical oral investigations. **2005**;9:215-232.
- Diedrichs G and Rosenhein P. Galvanoforming: Bio-Ästhetik in der restaurativen Zahnheilkunde. München: Neuer Merkur; 1995. p. 13-16.
- Dye BA, Tan S, Smith V, Lewis BG, Barker LK, Thornton-Evans G, Eke PI, Beltran-Aguilar ED, Horowitz AM and Li CH: Trends in oral health status: United States, 1988-1994 and 1999-2004. Vital Health Stat 11. **2007**:1-92.
- Edelhoff D and Ozcan M: To what extent does the longevity of fixed dental prostheses depend on the function of the cement? Working Group 4 materials: cementation. Clin Oral Implants Res. **2007**;18 Suppl 3:193-204.
- Ehrlich J and Hochman N: Alterations on crown contour--effect on gingival health in man. The Journal of prosthetic dentistry. **1980**;44:523-525.
- Einarsdottir ER, Lang NP, Aspelund T and Pjetursson BE: A multicenter randomized, controlled clinical trial comparing the use of displacement cords, an aluminum chloride paste, and a combination of paste and cords for tissue displacement. The Journal of prosthetic dentistry. **2018**;119:82-88.
- Eliasson A, Arnelund CF and Johansson A: A clinical evaluation of cobalt-chromium metal-ceramic fixed partial dentures and crowns: A three- to seven-year retrospective study. The Journal of prosthetic dentistry. **2007**;98:6-16.
- Elshahawy WM, Watanabe I and Kramer P: In vitro cytotoxicity evaluation of elemental ions released from different prosthodontic materials. Dent Mater. **2009**;25:1551-1555.

Facenda JC, Borba M and Corazza PH: A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]. **2018**;30:281-286.

Fejerskov O, Escobar G, Jossing M and Baelum V: A functional natural dentition for all--and for life? The oral healthcare system needs revision. Journal of oral rehabilitation. **2013**;40:707-722.

Felton DA, Kanoy BE, Bayne SC and Wirthman GP: Effect of in vivo crown margin discrepancies on periodontal health. The Journal of prosthetic dentistry. **1991**;65:357-364.

Flemmig TF and Beikler T: Decision making in implant dentistry: an evidence-based and decision-analysis approach. Periodontol 2000. **2009**;50:154-172.

Frencken JE, Sharma P, Stenhouse L, Green D, Lavery D and Dietrich T: Global epidemiology of dental caries and severe periodontitis - a comprehensive review. Journal of clinical periodontology. **2017**;44 Suppl 18:S94-S105.

Frieden TR: Evidence for Health Decision Making - Beyond Randomized, Controlled Trials. N Engl J Med. **2017**;377:465-475.

Galindo ML, Sendi P and Marinello CP: Estimating long-term survival of densely sintered alumina crowns: a cohort study over 10 years. The Journal of prosthetic dentistry. **2011**;106:23-28.

Gardner FM: Margins of complete crowns--literature review. The Journal of prosthetic dentistry. **1982**;48:396-400.

Gibbs CH, Hirschfeld JW, Lee JG, Low SB, Magnusson I, Thousand RR, Yerneni P and Clark WB: Description and clinical evaluation of a new computerized periodontal probe--the Florida probe. Journal of clinical periodontology. **1988**;15:137-144.

Goodacre CJ: Designing tooth preparations for optimal success. Dent Clin North Am. **2004**;48:v, 359-385.

Goodacre CJ, Campagni WV and Aquilino SA: Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles. The Journal of prosthetic dentistry. **2001**;85:363-376.

Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR and Bonfante EA: A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. The International journal of prosthodontics. **2015**;28:227-235.

Gunay H, Seeger A, Tschernitschek H and Geurtsen W: Placement of the preparation line and periodontal health--a prospective 2-year clinical study. Int J Periodontics Restorative Dent. **2000**;20:171-181.

Gursoy UK, Sokucu O, Uitto VJ, Aydin A, Demirer S, Toker H, Erdem O and Sayal A: The role of nickel accumulation and epithelial cell proliferation in orthodontic treatment-induced gingival overgrowth. *Eur J Orthod.* **2007**;29:555-558.

Haselton DR, Diaz-Arnold AM and Hillis SL: Clinical assessment of high-strength all-ceramic crowns. *The Journal of prosthetic dentistry.* **2000**;83:396-401.

Hassell TM, Germann MA and Saxer UP: Periodontal probing: interinvestigator discrepancies and correlations between probing force and recorded depth. *Helv Odontol Acta.* **1973**;17:38-42.

Hickel R, Roulet JF, Bayne S, Heintze SD, Mjor IA, Peters M, Rousson V, Randall R, Schmalz G, Tyas M and Vanherle G: Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98--FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns. *The journal of adhesive dentistry.* **2007**;9 Suppl 1:121-147.

Highfield JE and Powell RN: Effects of removal of posterior overhanging metallic margins of restorations upon the periodontal tissues. *Journal of clinical periodontology.* **1978**;5:169-181.

Holmes JR, Bayne SC, Holland GA and Sulik WD: Considerations in measurement of marginal fit. *The Journal of prosthetic dentistry.* **1989**;62:405-408.

Jahangiri L, Wahlers C, Hittelman E and Matheson P: Assessment of sensitivity and specificity of clinical evaluation of cast restoration marginal accuracy compared to stereomicroscopy. *The Journal of prosthetic dentistry.* **2005**;93:138-142.

Jepsen S, Blanco J, Buchalla W, Carvalho JC, Dietrich T, Dorfer C, Eaton KA, Figuero E, Frencken JE, Graziani F, Higham SM, Kocher T, Maltz M, Ortiz-Vigon A, Schmoedel J, Sculean A, Tenuta LM, van der Veen MH and Machiulskiene V: Prevention and control of dental caries and periodontal diseases at individual and population level: consensus report of group 3 of joint EFP/ORCA workshop on the boundaries between caries and periodontal diseases. *Journal of clinical periodontology.* **2017**;44 Suppl 18:S85-S93.

Jokstad A, Bayne S, Blunck U, Tyas M and Wilson N: Quality of dental restorations: FDI commission project 2-95. *International Dental Journal.* **2001**;51:117-158.

Jordan AR and Micheelis W. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). In: I. D. Z. Zahnärzte, editor. IDZ-Materialienreihe, Bd. 35. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV; 2016. p. 617.

Karlsson S: A clinical evaluation of fixed bridges, 10 years following insertion. *Journal of oral rehabilitation.* **1986**;13:423-432.

Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung. KZBV Jahrbuch 2020: Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung. Kassenzahnärztl. Bundesver.; 2020.

Kedici PS, Memikoglu MM, Kansu G, Isimer A and Gunhan O: Case report: ionisation tendency of a base metal alloy in the oral environment. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* **1995**;3:231-234.

Kern M, Beuer F, Frankenberger R, Kohal RJ, Kunzelmann KH, Mehl A, Pospiech P and Reiss B. Vollkeramik auf einen Blick: Leitfaden zur Indikation, Werkstoffauswahl, Vorbereitung und Eingliederung von vollkeramischen Restaurationen. 6 ed: Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde; 2015.

Kerschbaum T: Langzeitüberlebensdauer von Zahnersatz. *Quintessenz Zahnmedizin.* **2004**;55:1113-1126.

Keul C, Stawarczyk B, Erdelt KJ, Beuer F, Edelhoff D and Guth JF: Fit of 4-unit FDPs made of zirconia and CoCr-alloy after chairside and labside digitalization--a laboratory study. *Dent Mater.* **2014**;30:400-407.

Kidd EAM, van Amerongen JP and van Amerongen WE. The role of operative treatment in caries control. In: O. Fejerskov, B. Nyvad and E. A. Kidd, editors. *Dental Caries: The Disease and its Clinical Management.* 3rd ed: Wiley-Blackwell; 2015.

Kingman A, Susin C and Albandar JM: Effect of partial recording protocols on severity estimates of periodontal disease. *Journal of clinical periodontology.* **2008**;35:659-667.

Klinge B and Norlund A: A socio-economic perspective on periodontal diseases: a systematic review. *Journal of clinical periodontology.* **2005**;32 Suppl 6:314-325.

Knoernschild KL and Campbell SD: Periodontal tissue responses after insertion of artificial crowns and fixed partial dentures. *The Journal of prosthetic dentistry.* **2000**;84:492-498.

Kois JC: The restorative-periodontal interface: biological parameters. *Periodontol 2000.* **1996**;11:29-38.

Koke U, Sander C, Heinecke A and Muller HP: A possible influence of gingival dimensions on attachment loss and gingival recession following placement of artificial crowns. *Int J Periodontics Restorative Dent.* **2003**;23:439-445.

Land MF and Hopp CD: Survival rates of all-ceramic systems differ by clinical indication and fabrication method. *J Evid Based Dent Pract.* **2010**;10:37-38.

Lang NP, Kiel RA and Anderhalden K: Clinical and microbiological effects of subgingival restorations with overhanging or clinically perfect margins. *Journal of clinical periodontology.* **1983**;10:563-578.

- Laster L, Laudenbach KW and Stoller NH: An evaluation of clinical tooth mobility measurements. *Journal of periodontology*. **1975**;46:603-607.
- Leben JR: From repairing the consequences of disease to managed wellness: lessons from 20 years of managing dental care. *Compend Contin Educ Dent*. **1995**;Spec No:21-26.
- Lulic M, Bragger U, Lang NP, Zwahlen M and Salvi GE: Ante's (1926) law revisited: a systematic review on survival rates and complications of fixed dental prostheses (FDPs) on severely reduced periodontal tissue support. *Clin Oral Implants Res*. **2007**;18 Suppl 3:63-72.
- Luthardt R, Kern M, Pospiech P, Pröbster L, Reich S, Tinschert J and Wolfart S. Klinische Indikation von Kronen und Teilkronen (der geschädigte Zahn). *Mitteilungen der DGZMK*2008.
- Makarouna M, Ullmann K, Lazarek K and Boening KW: Six-year clinical performance of lithium disilicate fixed partial dentures. *International Journal of Prosthodontics*. **2011**;24:204-206.
- Makhija SK, Lawson NC, Gilbert GH, Litaker MS, McClelland JA, Louis DR, Gordan VV, Pihlstrom DJ, Meyerowitz C, Mungia R, McCracken MS and National Dental PCG: Dentist material selection for single-unit crowns: Findings from the National Dental Practice-Based Research Network. *J Dent*. **2016**;55:40-47.
- Malament KA and Socransky SS: Survival of Dicor glass-ceramic dental restorations over 14 years: Part I. Survival of Dicor complete coverage restorations and effect of internal surface acid etching, tooth position, gender, and age. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1999**;81:23-32.
- Malament KA and Socransky SS: Survival of Dicor glass-ceramic dental restorations over 14 years: Part I. Survival of Dicor complete coverage restorations and effect of internal surface acid etching, tooth position, gender, and age. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1999**;81:23-32.
- Marklund S, Bergman B, Hedlund SO and Nilson H: An intraindividual clinical comparison of two metal-ceramic systems: A 5-year prospective study. *International Journal of Prosthodontics*. **2003**;16:70-73.
- Marklund S, Bergman B, Hedlund SO and Nilson H: An intraindividual clinical comparison of two metal-ceramic systems: a 5-year prospective study. *The International journal of prosthodontics*. **2003**;16:70-73.
- Marquillier T, Domejean S, Le Clerc J, Chemla F, Gritsch K, Maurin JC, Millet P, Perard M, Grosgeat B and Dursun E: The use of FDI criteria in clinical trials on direct dental restorations: A scoping review. *J Dent*. **2018**;68:1-9.
- Marthaler TM: Changes in dental caries 1953-2003. *Caries research*. **2004**;38:173-181.

- McLean JW and von Fraunhofer JA: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *British dental journal*. **1971**;131:107-111.
- Meyer RD, Meyer J and Taloumis LJ: Intraoral galvanic corrosion: literature review and case report. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1993**;69:141-143.
- Miller SC and Boenheim F. *Textbook of periodontia (oral medicine)*. 1938.
- Minozzi S, Fornaciari G, Musco S and Catalano P: A gold dental prosthesis of Roman imperial age. *Am J Med*. **2007**;120:e1-2.
- Minozzi S, Panetta D, De Sanctis M and Giuffra V: A Dental Prosthesis from the Early Modern Age in Tuscany (Italy). *Clin Implant Dent Relat Res*. **2017**;19:365-371.
- Moberg M, Brewster J, Nicholson J and Roberts H: Physical property investigation of contemporary glass ionomer and resin-modified glass ionomer restorative materials. *Clinical oral investigations*. **2019**;23:1295-1308.
- Moffa JP, Lugassy AA, Guckes AD and Gettleman L: An evaluation of nonprecious alloys for use with porcelain veneers. Part I. Physical properties. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1973**;30:424-431.
- Morris HF: Veterans Administration Cooperative Studies Project No. 147. Part VIII: Plaque accumulation on metal ceramic restorations cast from noble and nickel-based alloys. A five-year report. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1989**;61:543-549.
- Mostafa NZ, Ruse ND, Ford NL, Carvalho RM and Wyatt CCL: Marginal Fit of Lithium Disilicate Crowns Fabricated Using Conventional and Digital Methodology: A Three-Dimensional Analysis. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. **2018**;27:145-152.
- Muhlemann HR and Son S: Gingival sulcus bleeding--a leading symptom in initial gingivitis. *Helv Odontol Acta*. **1971**;15:107-113.
- Naumann M, Ernst J, Reich S, Weisshaupt P and Beuer F: Galvano- vs. metal-ceramic crowns: up to 5-year results of a randomised split-mouth study. *Clinical oral investigations*. **2011**;15:657-660.
- Nawafleh NA, Mack F, Evans J, Mackay J and Hatamleh MM: Accuracy and reliability of methods to measure marginal adaptation of crowns and FDPs: a literature review. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. **2013**;22:419-428.
- Northeast SE, Van Noort R, Johnson A, Winstanley RB and White GE: Metal-ceramic bridges from commercial dental laboratories: alloy composition, cost and quality of fit. *British dental journal*. **1992**;172:198-204.

Olley RC, Andiappan M and Frost PM: An up to 50-year follow-up of crown and veneer survival in a dental practice. *The Journal of prosthetic dentistry*. **2018**;119:935-941.

Orkin DA, Reddy J and Bradshaw D: The relationship of the position of crown margins to gingival health. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1987**;57:421-424.

Ortorp A, Ascher A and Svanborg P: A 5-year retrospective study of cobalt-chromium-based single crowns inserted in a private practice. *The International journal of prosthodontics*. **2012**;25:480-483.

Ortorp A, Kihl ML and Carlsson GE: A 5-year retrospective study of survival of zirconia single crowns fitted in a private clinical setting. *J Dent*. **2012**;40:527-530.

Osborn J, Stoltenberg J, Huso B, Aeppli D and Pihlstrom B: Comparison of measurement variability using a standard and constant force periodontal probe. *Journal of periodontology*. **1990**;61:497-503.

Osborn JB, Stoltenberg JL, Huso BA, Aeppli DM and Pihlstrom BL: Comparison of measurement variability in subjects with moderate periodontitis using a conventional and constant force periodontal probe. *Journal of periodontology*. **1992**;63:283-289.

Owens JD, Dowsett SA, Eckert GJ, Zero DT and Kowolik MJ: Partial-mouth assessment of periodontal disease in an adult population of the United States. *Journal of periodontology*. **2003**;74:1206-1213.

Paniz G, Nart J, Gobbato L, Chierico A, Lops D and Michalakis K: Periodontal response to two different subgingival restorative margin designs: a 12-month randomized clinical trial. *Clinical oral investigations*. **2016**;20:1243-1252.

Parkinson CF: Excessive crown contours facilitate endemic plaque niches. *The Journal of prosthetic dentistry*. **1976**;35:424-429.

Parvinen T, Yli-Urpo A and Aitasalo K: Corrosion of a dental alloy in the mouth. A case report. *Proc Finn Dent Soc*. **1976**;72:210-212.

Passia N, Stampf S and Strub JR: Five-year results of a prospective randomised controlled clinical trial of posterior computer-aided design-computer-aided manufacturing ZrSiO<sub>4</sub> -ceramic crowns. *Journal of oral rehabilitation*. **2013**;40:609-617.

Patel DR, O'Brien T, Petrie A and Petridis H: A systematic review of outcome measurements and quality of studies evaluating fixed tooth-supported restorations. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. **2014**;23:421-433.

Pimenta MA, Frasca LC, Lopes R and Rivaldo E: Evaluation of marginal and internal fit of ceramic and metallic crown copings using x-ray microtomography (micro-CT) technology. *The Journal of prosthetic dentistry*. **2015**;114:223-228.

Pjetursson BE, Bragger U, Lang NP and Zwahlen M: Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). *Clin Oral Implants Res.* **2007**;18 Suppl 3:97-113.

Pjetursson BE, Bragger U, Lang NP and Zwahlen M: Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). *Clinical Oral Implants Research.* **2007**;18:97-113.

Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen M and Thoma DS: All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. *Dent Mater.* **2015**;31:624-639.

Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M and Hammerle CH: A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns. *Clin Oral Implants Res.* **2007**;18 Suppl 3:73-85.

Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M and Zwahlen M: A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res.* **2004**;15:667-676.

Poggio CE, Ercoli C, Rispoli L, Maiorana C and Esposito M: Metal-free materials for fixed prosthodontic restorations. *The Cochrane database of systematic reviews.* **2017**;12:CD009606.

Pospiech P: Materialien für die CAD/CAM-Technik: Die Qual der Wahl. *ZMK.* **2014**;30:250-256.

Qvist V. Longevity of restorations: 'the death spiral'. In: O. Fejerskov, B. Nyvad and E. A. Kidd, editors. *Dental Caries: The Disease and its Clinical Management*. 3rd ed: Wiley-Blackwell; 2015.

Ramfjord SP: Indices for Prevalence and Incidence of Periodontal Disease. *Journal of periodontology.* **1959**;30:51-59.

Rau G and Ströbel R. *Die Metalle: Werkstoffkunde mit ihren chemischen und physikalischen Grundlagen*. Verlag Neuer Merkur; 1999.

Rauch A, Schrock A, Schierz O and Hahnel S: Material selection for tooth-supported single crowns-a survey among dentists in Germany. *Clinical oral investigations.* **2021**;25:283-293.

Rehmann P, Podhorsky A, Schaaf D, Rudel K and Wostmann B: Long-span fixed dental prostheses not meeting Ante's law: a retrospective analysis. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985). **2015**;46:51-57.

Reich E: Trends in caries and periodontal health epidemiology in Europe. *Int Dent J*. **2001**;51:392-398.

Reichen-Graden S and Lang NP: Periodontal and pulpal conditions of abutment teeth. Status after four to eight years following the incorporation of fixed reconstructions. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. **1989**;99:1381-1385.

Reitemeier B, Hansel K, Kastner C, Weber A and Walter MH: A prospective 10-year study of metal ceramic single crowns and fixed dental prosthesis retainers in private practice settings. *The Journal of prosthetic dentistry*. **2013**;109:149-155.

Renk A. Prothetik, zahnärztliche. In: W. Gerabek, B. Haage, G. Keil and W. Wegne, editors. *Enzyklopädie Medizingeschichte*. Berlin/New York: De Gruyter; 2005. p. 1186.

Rinke S, Schafer S, Lange K, Gersdorff N and Roediger M: Practice-based clinical evaluation of metal-ceramic and zirconia molar crowns: 3-year results. *Journal of oral rehabilitation*. **2013**;40:228-237.

Roberts HW, Berzins DW, Moore BK and Charlton DG: Metal-ceramic alloys in dentistry: a review. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*. **2009**;18:188-194.

Rüssel C: Neue Werkstoffklasse Glaskeramik. *Spektrum der Wissenschaft*. **1997**;1997:102.

Sailer I, Balmer M, Husler J, Hammerle CHF, Kanel S and Thoma DS: 10-year randomized trial (RCT) of zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *J Dent*. **2018**;76:32-39.

Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S and Hammerle CH: Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up. *The International journal of prosthodontics*. **2009**;22:553-560.

Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M and Pjetursson BE: All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dent Mater*. **2015**;31:603-623.

Sailer I, Strasding M, Valente NA, Zwahlen M, Liu S and Pjetursson BE: A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic multiple-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res*. **2018**;29 Suppl 16:184-198.

- Sakaguchi RL and Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials. Elsevier Health Sciences; 2012.
- Saleh Samer M, Ali TT and Abdullah H: Clinical Outcomes of Lithium Disilicate Single Crowns after a Mean Duration of 3 Years - A Retrospective Study. Oral Health Prev Dent. **2018**;16:249-257.
- Salmang H, Telle R and Scholze H. Keramik. Springer Berlin Heidelberg; 2006.
- Schatzle M, Land NP, Anerud A, Boysen H, Burgin W and Loe H: The influence of margins of restorations of the periodontal tissues over 26 years. Journal of clinical periodontology. **2001**;28:57-64.
- Schulte W, Lukas D and Ernst E: [Periotest values and mobility of periodontally diseased teeth--comparative study]. Die Quintessenz. **1991**;42:1255-1263.
- Seydler B and Schmitter M: Clinical performance of two different CAD/CAM-fabricated ceramic crowns: 2-Year results. The Journal of prosthetic dentistry. **2015**;114:212-216.
- Silness J: Periodontal conditions in patients treated with dental bridges. 3. The relationship between the location of the crown margin and the periodontal condition. J Periodontal Res. **1970**;5:225-229.
- Sjögren G, Lantto R, Granberg Å, Sundström BO and Tillberg A: Clinical Examination of Leucite-Reinforced Glass-Ceramic Crowns (Empress) in General Practice: A Retrospective Study. International Journal of Prosthodontics. **1999**;12:122-128.
- Slade GD, Akinkugbe AA and Sanders AE: Projections of U.S. Edentulism prevalence following 5 decades of decline. Journal of dental research. **2014**;93:959-965.
- Sorensen JA: A rationale for comparison of plaque-retaining properties of crown systems. The Journal of prosthetic dentistry. **1989**;62:264-269.
- Spitznagel FA, Boldt J and Gierthmuehlen PC: CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. Journal of dental research. **2018**;97:1082-1091.
- Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D and Lümke N: Werkstoffkunde-Update: Zirkonoxid und seine Generationen - von verblendet bis monolithisch. QZ - Quintessenz Zahntechnik. **2016**;42:740-765.
- Stern N and Grajower R: Tooth preparation for full coverage-basic principles and rationalized clinical procedures. Journal of oral rehabilitation. **1975**;2:325-340.
- Strub JR. Band II: Artikulatoren, Ästhetik, Werkstoffkunde, Festsitzende Prothetik. Curriculum Prothetik. 4. ed. Berlin: Quintessenz Verlag; 2011.
- Suarez MJ, Perez C, Pelaez J, Lopez-Suarez C and Gonzalo E: A Randomized Clinical Trial Comparing Zirconia and Metal-Ceramic Three-Unit Posterior Fixed Partial Dentures: A

5-Year Follow-Up. Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists. **2019**;28:750-756.

Svanborg P, Langstrom L, Lundh RM, Bjerkstig G and Ortorp A: A 5-year retrospective study of cobalt-chromium-based fixed dental prostheses. The International journal of prosthodontics. **2013**;26:343-349.

Tanner J, Niemi H, Ojala E, Tolvanen M, Narhi T and Hjerppe J: Zirconia single crowns and multiple-unit FDPs-An up to 8 -year retrospective clinical study. J Dent. **2018**;79:96-101.

Tarnow D, Stahl SS, Magner A and Zamzok J: Human gingival attachment responses to subgingival crown placement. Marginal remodelling. Journal of clinical periodontology. **1986**;13:563-569.

Trombelli L, Farina R, Silva CO and Tatakis DN: Plaque-induced gingivitis: Case definition and diagnostic considerations. Journal of clinical periodontology. **2018**;45:S44-S67.

Vacek JS, Gher ME, Assad DA, Richardson AC and Giambarresi LI: The dimensions of the human dentogingival junction. Int J Periodontics Restorative Dent. **1994**;14:154-165.

Valderhaug J: Periodontal conditions and carious lesions following the insertion of fixed prostheses: a 10-year follow-up study. Int Dent J. **1980**;30:296-304.

Valderhaug J, Ellingsen JE and Jokstad A: Oral hygiene, periodontal conditions and carious lesions in patients treated with dental bridges. A 15-year clinical and radiographic follow-up study. Journal of clinical periodontology. **1993**;20:482-489.

Waerhaug J: Effect of rough surfaces upon gingival tissue. Journal of dental research. **1956**;35:323-325.

Walter MH, Wolf BH, Schmidt AE, Boening KW and Koch R: Plaque, gingival health and post-operative sensitivity in titanium inlays and onlays: a randomized controlled clinical trial. J Dent. **2001**;29:181-186.

Warren BE and Biscob J: FOURIER ANALYSIS OF X-RAY PATTERNS OF SODA-SILICA GLASS \*. Journal of the American Ceramic Society. **1938**;21:259-265.

Wataha JC: Alloys for prosthodontic restorations. The Journal of prosthetic dentistry. **2002**;87:351-363.

Wendler M, Belli R, Petschelt A, Mevec D, Harrer W, Lube T, Danzer R and Lohbauer U: Chairside CAD/CAM materials. Part 2: Flexural strength testing. Dent Mater. **2017**;33:99-109.

Wilson AD and Kent BE: The glass-ionomer cement, a new translucent dental filling material. *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology*. **1971**;21:313-313.

Wolleb K, Sailer I, Thoma A, Menghini G and Hammerle CH: Clinical and radiographic evaluation of patients receiving both tooth- and implant-supported prosthodontic treatment after 5 years of function. *The International journal of prosthodontics*. **2012**;25:252-259.

Wolleb K, Sailer I, Thoma A, Menghini G and Hämmerle CHF: Clinical and radiographic evaluation of patients receiving both tooth-and implant-supported prosthodontic treatment after 5 years of function. *International Journal of Prosthodontics*. **2012**;25:252-259.

Wostmann B, Blosser T, Gouentenoudis M, Balkenhol M and Ferger P: Influence of margin design on the fit of high-precious alloy restorations in patients. *J Dent*. **2005**;33:611-618.

Xie GY, Chen JH, Wang H and Wang YJ: Morphological measurement of biologic width in Chinese people. *J Oral Sci*. **2007**;49:197-200.

Zarone F, Di Mauro MI, Ausiello P, Ruggiero G and Sorrentino R: Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. *BMC Oral Health*. **2019**;19:134.

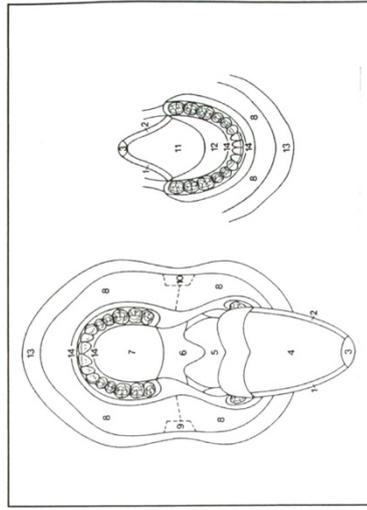
Zhang Y and Lawn BR: Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of dental research*. **2018**;97:140-147.

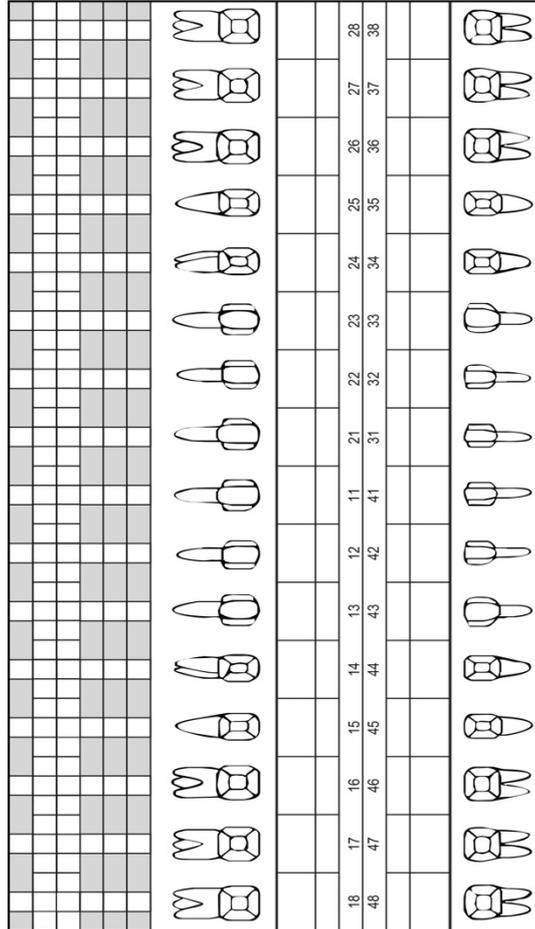
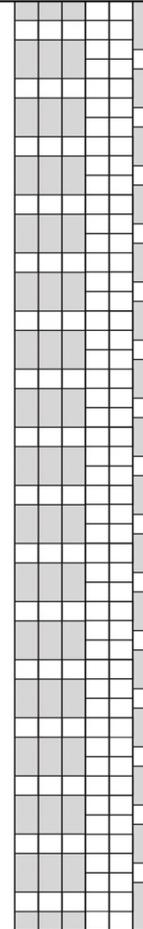
8 Anhang



**Universitätsklinikum Düsseldorf**  
Westdeutsche Kieferklinik

Bitte hier  
Patientenetikett  
mit Barcode  
aufkleben!



SBI (0-5)																												
PD (mm)																												
AL (mm)																												
MOE (0-3)																												
Vit (0/1)																												
																												
Status																												
Material																												
Zahn	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28												
Zahn	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38												
Material																												
Status																												
																												
Vit (0/1)																												
MOE (0-3)																												
AL (mm)																												
PD (mm)																												
SBI (0-5)																												

Randschluss:

Keramik-  
abplatzungen:

Korrosion:

Geschmacks-  
irritationen:

sonstige  
Defekte:

Abb. 29: Befundbogen zur Erhebung dentaler und parodontaler Parameter

**Tabelle 35: Charakteristika der untersuchten Restaurationen**

	Region				Restaurationsalter (in Abschnitten)										Verblendung				Befestigungszement			
	OK-SZ	OK-FZ	UK-SZ	UK-FZ	mehr als eine Region	Gesamt	5 - 10 Jahre	10 - 15 Jahre	15 - 20 Jahre	20 - 25 Jahre	25 - 30 Jahre	älter als 30 Jahre	Gesamt	nein	ja	Gesamt	KetacCem	Phosphatzement	ohne Angaben	Temp Bond	Gesamt	
Krone	EMFL	8	0	8	0	16	13	2	0	0	1	0	16	7	9	16	1	14	1	0	16	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	50,0%	0,0%	50,0%	0,0%	100,0%	81,3%	12,5%	0,0%	0,0%	6,3%	0,0%	100,0%	43,8%	56,3%	100,0%	6,3%	87,5%	6,3%	0,0%	100,0%	
EIML	EMFL	24	1	18	0	43	20	17	6	0	0	0	43	19	24	43	7	22	12	2	43	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	55,8%	2,3%	41,9%	0,0%	100,0%	46,5%	39,5%	14,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	44,2%	55,8%	100,0%	16,3%	51,2%	27,9%	4,7%	100,0%	
Keramik	EMFL	6	19	9	0	34	34	0	0	0	0	0	34	0	34	34	25	2	7	0	34	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	17,6%	55,9%	26,5%	0,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%	73,5%	5,9%	20,6%	0,0%	100,0%	
Gesamt	EMFL	38	20	35	0	93	67	19	6	0	1	0	93	26	67	93	33	38	20	2	93	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	40,9%	21,5%	37,6%	0,0%	100,0%	72,0%	20,4%	6,5%	0,0%	1,1%	0,0%	100,0%	28,0%	72,0%	100,0%	35,5%	40,9%	21,5%	2,2%	100,0%	
Brücke	EMFL	9	0	7	0	20	14	1	1	2	1	1	20	0	20	20	2	12	5	1	20	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	45,0%	0,0%	35,0%	0,0%	100,0%	70,0%	5,0%	5,0%	10,0%	5,0%	5,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%	10,0%	60,0%	25,0%	5,0%	100,0%	
EIML	EMFL	5	2	12	0	26	15	8	1	1	1	0	26	1	25	26	4	12	8	2	26	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	19,2%	7,7%	46,2%	0,0%	100,0%	57,7%	30,8%	3,8%	3,8%	3,8%	0,0%	100,0%	3,8%	96,2%	100,0%	15,4%	46,2%	30,8%	7,7%	100,0%	
Keramik	EMFL	1	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	2	0	2	2	2	0	0	0	2	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	
Gesamt	EMFL	15	2	19	1	48	31	9	2	3	2	1	48	1	47	48	8	24	13	3	48	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	31,3%	4,2%	39,6%	2,1%	100,0%	64,6%	18,8%	4,2%	6,3%	4,2%	2,1%	100,0%	2,1%	97,9%	100,0%	16,7%	50,0%	27,1%	6,3%	100,0%	
Gesamt	EMFL	17	0	15	0	36	27	3	1	2	2	1	36	7	29	36	3	26	6	1	36	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	47,2%	0,0%	41,7%	0,0%	100,0%	75,0%	8,3%	2,8%	5,6%	5,6%	2,8%	100,0%	19,4%	80,6%	100,0%	8,3%	72,2%	16,7%	2,8%	100,0%	
EIML	EMFL	29	3	30	0	69	35	25	7	1	1	0	69	20	49	69	11	34	20	4	69	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	42,0%	4,3%	43,5%	0,0%	100,0%	50,7%	36,2%	10,1%	1,4%	1,4%	0,0%	100,0%	29,0%	71,0%	100,0%	15,9%	49,3%	29,0%	5,8%	100,0%	
Keramik	EMFL	7	19	9	1	36	36	0	0	0	0	0	36	0	36	36	27	2	7	0	36	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	19,4%	52,8%	25,0%	2,8%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%	75,0%	5,6%	19,4%	0,0%	100,0%	
Gesamt	EMFL	53	22	54	1	141	98	28	8	3	3	1	141	27	114	141	41	62	33	5	141	
	Anzahl																					
	Zeilen (%)	37,6%	15,6%	38,3%	0,7%	100,0%	69,5%	19,9%	5,7%	2,1%	2,1%	0,7%	100,0%	19,1%	80,9%	100,0%	29,1%	44,0%	23,4%	3,5%	100,0%	

Tabelle 36: Verteilung der Komplikationen

	Korrosion						Abplatzungen						Dezementierung						Sekundärkaries						Komplikationen					
	nein		ja		Gesamt		nein		ja		Gesamt		nein		ja		Gesamt		nein		ja		Gesamt		nein		ja		Gesamt	
	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)
Krone	EMFL	16	100,0 %	0	0,0 %	16	100,0 %	7	22,2 %	2	6,3 %	9	28,5 %	16	100,0 %	0	0,0 %	15	93,8 %	1	6,3 %	16	100,0 %	13	81,3 %	3	18,8 %	16	100,0 %	
		Anzahl																												
		Anzahl als Zeilen (%)																												
	EML	43	100,0 %	0	0,0 %	43	100,0 %	21	48,8 %	3	7,0 %	24	55,8 %	43	100,0 %	0	0,0 %	40	93,0 %	3	7,0 %	43	100,0 %	38	88,4 %	5	11,6 %	43	100,0 %	
		Anzahl als Zeilen (%)																												
Keramik		0	100,0 %	0	0,0 %	0	100,0 %	32	87,5 %	2	5,6 %	34	100,0 %	0	0,0 %	34	100,0 %	33	97,1 %	1	2,9 %	34	100,0 %	31	91,2 %	3	8,8 %	34	100,0 %	
		Anzahl																												
		Anzahl als Zeilen (%)																												
	Gesamt	59	100,0 %	0	0,0 %	59	100,0 %	60	89,8 %	7	11,9 %	67	100,0 %	93	100,0 %	0	0,0 %	88	94,6 %	5	5,4 %	93	100,0 %	82	88,2 %	11	11,8 %	93	100,0 %	
		Anzahl als Zeilen (%)																												
Brücke	EMFL	19	100,0 %	1	5,3 %	20	105,3 %	15	78,9 %	5	25,0 %	20	100,0 %	18	90,0 %	2	10,0 %	20	100,0 %	0	0,0 %	20	100,0 %	10	50,0 %	10	50,0 %	20	100,0 %	
		Anzahl																												
		Anzahl als Zeilen (%)																												
	EML	25	100,0 %	1	4,0 %	26	104,0 %	19	76,0 %	6	23,0 %	25	100,0 %	26	100,0 %	0	0,0 %	26	100,0 %	0	0,0 %	26	100,0 %	19	73,1 %	7	26,9 %	26	100,0 %	
		Anzahl als Zeilen (%)																												
Keramik		0	100,0 %	0	0,0 %	0	100,0 %	2	100,0 %	0	0,0 %	2	100,0 %	2	100,0 %	0	0,0 %	2	100,0 %	0	0,0 %	2	100,0 %	2	100,0 %	0	0,0 %	2	100,0 %	
		Anzahl																												
		Anzahl als Zeilen (%)																												
	Gesamt	44	100,0 %	2	4,5 %	46	104,5 %	36	81,8 %	11	23,9 %	47	100,0 %	46	100,0 %	0	0,0 %	48	100,0 %	0	0,0 %	48	100,0 %	31	64,6 %	17	35,4 %	48	100,0 %	
		Anzahl als Zeilen (%)																												
Gesamt	EMFL	35	100,0 %	1	2,9 %	36	102,9 %	22	61,1 %	7	19,4 %	29	80,6 %	34	94,4 %	2	5,6 %	35	97,2 %	1	2,8 %	36	100,0 %	23	63,9 %	13	36,1 %	36	100,0 %	
		Anzahl																												
		Anzahl als Zeilen (%)																												
	EML	68	100,0 %	1	1,5 %	69	101,5 %	40	58,8 %	9	13,0 %	49	71,3 %	69	100,0 %	0	0,0 %	66	95,7 %	3	4,3 %	69	100,0 %	57	82,6 %	12	17,4 %	69	100,0 %	
		Anzahl als Zeilen (%)																												
Keramik		0	100,0 %	0	0,0 %	0	100,0 %	34	100,0 %	2	6,1 %	36	100,0 %	36	100,0 %	0	0,0 %	35	97,2 %	1	2,8 %	36	100,0 %	33	91,7 %	3	8,3 %	36	100,0 %	
		Anzahl																												
		Anzahl als Zeilen (%)																												
	Gesamt	103	100,0 %	2	1,9 %	105	101,9 %	96	91,4 %	18	17,1 %	114	108,5 %	139	131,4 %	2	1,9 %	141	137,1 %	5	4,7 %	141	100,0 %	113	80,1 %	28	19,9 %	141	100,0 %	
		Anzahl als Zeilen (%)																												

Tabelle 37: Verteilung des Randschlusses

			Randschluss				
			+	0	-	Spalt	Gesamt
Krone	EMFL	Anzahl	15	47	0	2	64
		Anzahl als Zeilen (%)	23,4 %	73,4 %	0,0 %	3,1 %	100,0 %
	EML	Anzahl	27	137	6	2	172
		Anzahl als Zeilen (%)	15,7 %	79,7 %	3,5 %	1,2 %	100,0 %
	Keramik	Anzahl	43	93	0	0	136
		Anzahl als Zeilen (%)	31,6 %	68,4 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Gesamt	Anzahl	85	277	6	4	372	
	Anzahl als Zeilen (%)	22,8 %	74,5 %	1,6 %	1,1 %	100,0 %	
Brücke	EMFL	Anzahl	45	131	5	7	188
		Anzahl als Zeilen (%)	23,9 %	69,7 %	2,7 %	3,7 %	100,0 %
	EML	Anzahl	51	172	2	3	228
		Anzahl als Zeilen (%)	22,4 %	75,4 %	0,9 %	1,3 %	100,0 %
	Keramik	Anzahl	5	15	0	0	20
		Anzahl als Zeilen (%)	25,0 %	75,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Gesamt	Anzahl	101	318	7	10	436	
	Anzahl als Zeilen (%)	23,2 %	72,9 %	1,6 %	2,3 %	100,0 %	
Gesamt	EMFL	Anzahl	60	178	5	9	252
		Anzahl als Zeilen (%)	23,8 %	70,6 %	2,0 %	3,6 %	100,0 %
	EML	Anzahl	78	309	8	5	400
		Anzahl als Zeilen (%)	19,5 %	77,3 %	2,0 %	1,3 %	100,0 %
	Keramik	Anzahl	48	108	0	0	156
		Anzahl als Zeilen (%)	30,8 %	69,2 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
Gesamt	Anzahl	186	595	13	14	808	
	Anzahl als Zeilen (%)	23,0 %	73,6 %	1,6 %	1,7 %	100,0 %	

Tabelle 38: Verteilung der USPHS-Kriterien

	USPHS: Randschluss					USPHS: anatomische Form					USPHS: Sekundärkaries		
	<	▩	∩	D	Gesamt	A	B	C	Gesamt	A	B	Gesamt	
<b>Krone</b>													
EMFL	Anzahl	15	0	1	0	15	0	1	16	15	1	16	
	Anzahl als Zeilen (%)	93,8 %	0,0 %	6,3 %	0,0 %	93,8 %	0,0 %	6,3 %	100,0 %	93,8 %	6,3 %	100,0 %	
EML	Anzahl	42	0	1	0	43	3	1	43	40	3	43	
	Anzahl als Zeilen (%)	97,7 %	0,0 %	2,3 %	0,0 %	100,0 %	7,0 %	2,3 %	100,0 %	93,0 %	7,0 %	100,0 %	
Keramik	Anzahl	34	0	0	0	34	0	0	34	33	1	34	
	Anzahl als Zeilen (%)	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	97,1 %	2,9 %	100,0 %	
Gesamt	Anzahl	91	0	2	0	93	3	2	93	88	5	93	
	Anzahl als Zeilen (%)	97,8 %	0,0 %	2,2 %	0,0 %	100,0 %	3,2 %	2,2 %	100,0 %	94,6 %	5,4 %	100,0 %	
<b>Brücke</b>													
EMFL	Anzahl	15	0	3	2	20	3	3	20	18	2	20	
	Anzahl als Zeilen (%)	75,0 %	0,0 %	15,0 %	10,0 %	100,0 %	15,0 %	15,0 %	100,0 %	90,0 %	10,0 %	100,0 %	
EML	Anzahl	24	0	2	0	26	2	2	26	25	1	26	
	Anzahl als Zeilen (%)	92,3 %	0,0 %	7,7 %	0,0 %	100,0 %	7,7 %	7,7 %	100,0 %	96,2 %	3,8 %	100,0 %	
Keramik	Anzahl	2	0	0	0	2	0	0	2	2	0	2	
	Anzahl als Zeilen (%)	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	100,0 %	0,0 %	100,0 %	
Gesamt	Anzahl	41	0	5	2	48	5	5	48	45	3	48	
	Anzahl als Zeilen (%)	85,4 %	0,0 %	10,4 %	4,2 %	100,0 %	10,4 %	10,4 %	100,0 %	93,8 %	6,3 %	100,0 %	
<b>Gesamt</b>													
EMFL	Anzahl	30	0	4	2	36	3	4	36	33	3	36	
	Anzahl als Zeilen (%)	83,3 %	0,0 %	11,1 %	5,6 %	100,0 %	8,3 %	11,1 %	100,0 %	91,7 %	8,3 %	100,0 %	
EML	Anzahl	66	0	3	0	69	5	3	69	65	4	69	
	Anzahl als Zeilen (%)	95,7 %	0,0 %	4,3 %	0,0 %	100,0 %	7,2 %	4,3 %	100,0 %	94,2 %	5,8 %	100,0 %	
Keramik	Anzahl	36	0	0	0	36	0	0	36	35	1	36	
	Anzahl als Zeilen (%)	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	97,2 %	2,8 %	100,0 %	
Gesamt	Anzahl	132	0	7	2	141	8	7	141	133	8	141	
	Anzahl als Zeilen (%)	93,6 %	0,0 %	5,0 %	1,4 %	100,0 %	5,7 %	5,0 %	100,0 %	94,3 %	5,7 %	100,0 %	

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Erstellung meiner Promotionsarbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt dabei Frau Dr. Gabriele Diedrichs für die Bereitstellung des Promotionsthemas und die hervorragende fachliche und organisatorische Unterstützung zu jedem Zeitpunkt meiner Promotion.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Alfons Hugger und Herrn Professor Dr. David Sonntag für die Unterstützung, den kritischen Diskurs und die Hilfe bei der Erstellung meiner Arbeit bedanken.

Allen Patientinnen und Patienten, die sich bereit erklärt haben, an der Studie teilzunehmen, gilt mein ausdrücklicher Dank. Ohne ihre Bereitschaft und Zeit wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.