

**Aus der Universitätsklinik für
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen
Abteilung Poliklinik für zahnärztliche Prothetik und Propädeutik**

**Qualität adhäsiv befestigter Einzelzahnkronen
auf Basis der Lithium-Disilikatkeramik „emax-press“
im mittelfristigen klinischen Verlauf**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Gehrke, Ulf Peter**

2017

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter:

Professor Dr. H. Weber

2. Berichterstatter:

Privatdozent Dr. C. Meller

Tag der Disputation

20. September 2017

Fabus

I. Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	1
1.1	ÜBERSICHT ZU DEN DENTALKERAMIKEN – EINE EINORDNUNG	2
1.1.1	Mechanisch/ physikalische Eigenschaften	2
1.1.2	Silikatkeramiken	5
1.1.3	Oxidkeramiken	5
1.1.4	Fertigungstechnische Möglichkeiten	6
1.1.5	Lithium-Disilikatkeramik im Speziellen	7
1.2	ÜBERSICHT ZUR KLINISCHEN THERAPIE MIT EINZELZAHNKRONEN	8
1.2.1	Indikation von Einzelzahnkronen	8
1.2.2	Präparation eines Zahnes für eine vollkeramische Vollkrone	8
1.2.3	Einprobe und Prüfung auf Integrität der Einzelzahnkrone	10
1.2.4	Einsetzen und definitive Befestigung von Einzelzahnkronen	11
1.3	BEWERTUNG DER QUALITÄT UND KLINISCHE BEWÄHRUNG VON KRONEN	15
1.3.1	Biologische Veränderungen	15
1.3.2	Veränderungen am Randspalt (Übergang biologisch-materiell)	16
1.3.3	Technisch bedingte Veränderungen	16
1.4	KLINISCHE BEWÄHRUNG VON VOLLKERAMIKKRONEN	18
1.5	STUDIENFRAGEN UND HYPOTHESE DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG	19
1.6	ZIELE DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG	20
2	MATERIAL UND METHODE	21
2.1	AUSWAHL DER PATIENTEN – DEFINITION DER KOHORTE	21
2.2	KLINISCHE DATENERHEBUNG/ UNTERSUCHUNGEN	22
2.2.1	Erhebung des Zahnstatus	23
2.2.2	Befragung des Patienten	23
2.2.3	Restaurations- spezifische Dokumentation	23
2.3	ERFOLGS- UND QUALITÄTBEWERTUNGEN DER KONSTRUKTION	24
2.3.1	Qualitätsbewertung nach Ryge & Cvar – USPH Criteria	24
2.3.2	Unerwünschte Ereignisse (AE) die Komplikationen sind	26
2.3.3	Ereignisse die zum Versagen oder Verlust führen (SAE)	26
2.3.4	Bewertung technischer Komplikationen in/an der Keramik	27
2.3.5	Einteilung technischer Misserfolge:	28
2.3.6	Einteilung biologischer Misserfolge	30

2.3.7	Qualitätskriterien zur Integrität der Krone	31
2.4	DATENMANAGEMENT	31
2.4.1	Datenerfassung.....	31
2.4.2	Dateneingabe.....	31
2.4.3	Datenkontrolle.....	33
2.5	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	33
2.5.1	Deskription der Kohorte	33
2.5.2	Berechnung von Komplikations- und Überlebensraten	33
2.5.3	Vergleich von Komplikations- und Überlebensraten abhängiger Variablen	34
2.5.4	Validierung von Komplikations- und Überlebensraten.....	35
2.5.5	Auswertung der Qualitätsvariablen	35
3	ERGEBNISSE.....	36
3.1	BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN KOHORTE	36
3.1.1	Behandelte Patienten & eingegliederte Konstruktionen	36
3.1.2	„Loss-to-Follow-up“ und ausgeschlossen von Auswertung	36
3.1.3	Patienten & Konstruktionen in der Auswertung	39
3.2	BEOBACHTUNGSZEITRAUM & BEOBACHTETE EREIGNISSE	42
3.2.1	Beschreibung der beobachteten Ereignisse	43
3.2.2	Validierung der weiteren Berechnungen durch eine randomisierte Kohorte.....	45
3.3	EREIGNISZEITANALYSEN ZU KOMPLIKATIONEN UND VERSAGEN	47
3.4	QUALITÄTBEWERTUNG DER KRONEN IN DEN NACHUNTERSUCHUNGEN	52
4	DISKUSSION.....	54
4.1.1	Untersuchte Patienten und ausgewertete Restaurationen	54
4.1.2	Klinische Einordnung der beobachteten Ereignisse zur Literatur.....	58
4.1.3	Vergleich der festgestellten Leistungsfähigkeit zu anderen Untersuchungen mit monolithischen Lithium-Disilikat-Kronen	62
4.1.4	Einordnung der Leistungsfähigkeit zu Behandlungsalternativen mit vollkeramischen Systemen auf Basis von Silikatkeramik und Zirkonoxid.	67
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	69
6	LITERATURVERZEICHNIS	72
7	ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL.....	81

8	VERÖFFENTLICHUNGEN	82
----------	---------------------------------	-----------

9	DANKSAGUNG	83
----------	-------------------------	-----------

II. Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
AE	adverse Event = unerwünschtes Ereignis/ Interventionsbedarf an der Restauration
BEMA	Bewertungsmaßstab zahnärztlicher Leistungen, Gebührenverzeichnis
BoP	bleeding on probing, Grad der Blutung auf Sondieren (Index für parodontale Gesundheit)
CAD/CAM	computer aided design/ computer aided manufacturing (Subtraktive Fertigung von Restaurationen)
CDA	California Dental Association, hier verwendet Synonym für den Bewertungskatalog indirekter Restaurationen nach Ryge [108].
CRF	Case Report Form = Falldokumentationsbogen
DIN	Deutsche Industrie Norm
E-Modul	Elastizitätsmodul
erw.	erweiterte
FDI	Federation dentaire internationale, betrifft hier jeweils die Zahnziffer nach dem Schema der FDI.
ISO	International Organization for Standardization
LDS	Lithium-Disilikatkeramik
m	männlich

Fortsetzung des Abkürzungsverzeichnisses

min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
N	Newton
OK	Oberkiefer
Perk	Perkussionsempfindlich
SAE	serious adverse Event = schwerwiegendes unerwünschtes Ereignis an der Restauration
sog.	sogenannte
SST	Sulcussondierungstiefe in mm (Index für parodontale Gesundheit)
UK	Unterkiefer
Vipr	Sensibilitätstest
Vol.-%	Volumenprozent
w	weiblich
WKB	Wurzelkanalbehandlung/ wurzelkanalbehandelt bzw. wurzelkanalgefüllt
ZLS	Zirkonoxid-verstärkte Lithiumsilikatkeramik
ZLS	Zirkonoxid-verstärkte Lithiumsilikatkeramik
ZrO	Zirkoniumdioxid/ Zirkonoxid (Oxidkeramik)

1. Einleitung

Vollkeramische Kronen haben sich in den letzten 20 Jahren als verlässliche Alternative zur konventionellen Metallkeramik etabliert [51]. Dies hat zwei wesentliche, praktische Gründe:

1. Vollkeramische Restaurationen erlauben eine metallfreie Restaurationsmöglichkeit; dadurch muss das opake und dunkle Metallgerüst nicht mithilfe zahnfarbenen Überzugs (Opaker) und entsprechend dicken Schichten Verblendkeramik abgedeckt werden, um ein ästhetisches Ergebnis zu erzielen. Weiter erlauben einige vollkeramische Materialien durch ihre Transluzenz eine verbesserte Ästhetik, da das Licht - vergleichbar zum natürlichen Zahn - aufgenommen gebrochen und weitergeleitet werden kann. Zusätzlich werden keramische/ mineralische Materialien auch als biokompatible beschrieben, da diese nicht oxidierbar oder im Milieu der Mundhöhle löslich sind.
2. Die Weiterentwicklung keramischer/ mineralischer Materialien und Technologien (s. Kapitel 1.1) hat erheblich zu deren Festigkeit und damit breiten Anwendungsmöglichkeit (Indikationen) beigetragen. Gleichzeitig hat die Fertigungstechnik – insb. Fortschritte bei Computer-gestütztem Design und Fertigung (CAD/CAM) – die Verarbeitung dieser Materialien in den Anforderungen für die restaurative Zahnmedizin ermöglicht.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einer Gruppe hochfester Silikatkeramiken, der Lithium-Disilikatkeramik (LDS), und deren klinischer Einsatz in der Indikation „Einzelzahnkrone“ (s. Kapitel 1.2, ab Seite 8).

Daher folgt eine kurze Einordnung dieses Werkstoffs in die Dentalkeramiken und daraufhin eine konkrete Beschreibung der LDS und deren zahntechnische Umsetzungsmöglichkeiten. Nach Ausführungen zur Indikation und den klinischen Abläufen einer Einzelzahnversorgung mit einer Krone – speziell auch aus LDS, folgt eine Übersicht zur Bewertung von Qualität und Leistungsfähigkeit festsitzenden Zahnersatzes (s. Kapitel 1.3 ab Seite 15) und ein Überblick zur Leistungsfähigkeit bewährter, vollkeramischer Kronen (s. Kapitel 1.4 ab Seite 18).

1.1 Übersicht zu den Dentalkeramiken – eine Einordnung

Dentalkeramiken lassen sich nach chemischen Eigenschaften (Silikatkeramik, Oxidkeramik, Hybridkeramiken) unterteilen. Dieses bietet sich an, da mit den chemischen auch wesentliche mechanische Eigenschaften verbunden sind.

1.1.1 Mechanisch/ physikalische Eigenschaften

Kaukraftwerte, die auf natürliche Zähne wirken sind Maßgabe für physikalische Eigenschaften dentaler Werkstoffe und insbesondere von Keramiken zum Zahnersatz. Die durchschnittliche Belastbarkeit von Einzelzähnen in der Front liegt bei ca. 150 N bis 360 N und im Molarenbereich können Maximalkräfte von 530 N auftreten. Das Versagen gegenüber diesen Kräften äußert sich durch Abplatzungen (sog. Chip off), Rissbildungen und Frakturen der Restauration.

Der Elastizitätsmodul (E-Modul) ist neben der Biegefestigkeit die wichtigste Kenngröße einer Dentalkeramik. Er beschreibt den Widerstand gegen eine elastische Verformung. Zirkoniumdioxid-Keramik zeigt Elastizitätsmodule zwischen 200 GPa und 300 GPa bei Biegefestigkeiten zwischen 600 MPa und 1000 MPa, was den Materialeigenschaften von zahnmedizinisch verwendeten Nichtedelmetall-Legierungen auf Cobalt-Chrom-Basis entspricht [64].

Je höher der E-Modul, desto größer ist die für seine elastische Verformung notwendige Kraft. Wird die Kraft des E-Moduls überschritten, kommt es zur Verformung bzw. zur Schädigung der Materialintegrität. (s. Tabelle 1).

Tabelle 1 Physikalische Eigenschaften von Metallen und Vollkeramiksystemen im Vergleich (nach [64])

Material	Elastizitätsmodul (GPa)	Biegefestigkeit (MPa)
Hochleistungskunststoffe (Vita CAD-Temp)	2,8	80
Glaskeramiken Typ I Dentallegierung	60 - 80	60 - 100
In-Ceram, Empress 2 Typ III/IV Dentallegierung	100 - 300	300 - 500
Aluminium-, Zirkoniumoxid CoCr-Legierung	200 - 300	600 - 1000

Dentalkeramische Restaurationen ermöglichen es, Farbe und Form des natürlichen Zahnes naturgetreu nachzugestalten. Lichtleitung und Lichtreflexion basieren auf den physikalischen Eigenschaften welche durch den Zusatz von Pigmenten in die Schichtmassen für Schmelz- und Dentin erreicht wird.

Unter Transluzenz versteht man eine partielle Lichtdurchlässigkeit eines Körpers. Eine glatte Oberfläche reduziert Reflexionsflächen und ermöglicht einen Lichteintrag in tiefere Schichten. Dieser Lichttransport sollte am Übergang von keramischer Restauration zu Zahnhartsubstanz nicht abbrechen. Denn, so kann die Farbe des natürlichen Zahnes zur Farbgebung der Restauration mitwirken. Deshalb kommt dem Befestigungsmaterial häufig eine entscheidende Bedeutung zu.

Gleichwohl sollten sich Farbstoffe in Nahrungsmitteln nicht auf keramischen Oberflächen ablagern.

Tabelle 2 Übersicht vollkeramischer Systeme adaptiert nach Pospiech 2004 Dargestellt sind die Keramik-Materialgruppen und gängige Handelsnamen der Marktführer (*hochgestellte Buchstaben: I = Ivoclar Vivadent; V= Vita Zahnfabrik, D=DentsplySirona (früher DeguDent), P=Panasonic Healthcare). Die Eigenschaften der LDS sind fett gedruckt.

Dentale Keramiken			
Gruppe	Silikatkeramiken	Hybride von Silikat- und Oxidkeramik	Oxidkeramik
Bezeichnung	Feldspat, Leucit-verstärkt, Lithium-Silikat, Lithium-Disilikat (LDS)	Zirkonverstärktes Lithiumsilikat (ZLS)	Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Y-TZP; Cerium-verstärktes Y-TZP
Handelsname*	EmaxCeram ^I , Empress 1 ^I , Empress 2 ^I , Emax-CAD und Emax Press^I	Celtra ^D , Suprinity ^V	InCeram YZ, emax ZirCAD ^I , NanoZR ^P
Biegefestigkeit	geringe 150 MPa 450 MPa	250-420 MPa	hohe 800 – 1200 MPa
Ästhetik	Brillanz, Transluzens, Transparenz alle Zahnfarben fast alle Zahnfarben Schichtung Schichtung/ Bemalung	reduzierte Transparenz wenige Zahnfarben Bemalung	Opazität, wenig zahnfarben Bemalung
Empfohlene Befestigung	voll-adhäsive Befestigung --- selbst-adhäsive Befestigung oder konventionelle Befestigung		

1.1.2 Silikatkeramiken

Als wesentliche Merkmale weisen Silikatkeramiken glasig-amorphe Phasen und eine ausgeprägte Porenstruktur auf. Sie sind überwiegend heterogene, oft von einer Glasphase umgebene, Werkstoffe. Mit einer Biegefestigkeit von ca. 100 MPa ist die adhäsive Befestigung erforderlich, um einen kraftschlüssigen Verbund zu erhalten. Bei ausreichend konditionierbarer Zahnhartsubstanz können, mit hinreichender klinischer Sicherheit Inlays, Onlays, Teilkronen, Veneers und Einzelkronen eingegliedert werden. Die Hauptbestandteile der Feldspatkeramik sind, Feldspat (60 – 80 %), Quarz (15 – 25 %) und Kaolin (0 – 5 %). Feldspat ist hierbei ein Mischkristallsystem bestehend aus Kalifeldspat, Natronfeldspat und Kalkfeldspat [29, 80]. Durch feinverteilte Leuzit- und Feldspatkristalle wird die Verfestigung der Keramik erreicht, wobei die Biegefestigkeit bei lediglich 100 MPa liegt. Um die vielfältigen Farbnuancen natürlicher Zähne nachzuahmen, lassen sich Opazität und Transparenz durch Zugabe mineralischer Zusätze gezielt steuern [66, 80].

Glaskeramiken weisen zwar eine ähnliche Zusammensetzung wie Feldspatkeramiken auf. Im Gegensatz zur Feldspatkeramik besitzen sie jedoch zunächst nur eine amorphe Glasstruktur, die erst in einem sekundären Kristallisationsprozess mit Füllkristallen durchsetzt wird [94]. Glaskeramiken können im Guss- oder Pressverfahren verarbeitet werden.

Lithium-Disilikatkeramik ist eine Silikatkeramik mit Festigkeitswerten bis 450 MPa, sowohl für vollanatomische Restaurationen mit farblich charakterisierungen (Glanzbrand), wie auch für Gerüst-basierte Lösungen mit aufgeschichteter Verblendkeramik [66, 94].

1.1.3 Oxidkeramiken

Oxidkeramiken können historisch in glasinfiltrierte und polykristalline Keramiken aufgeteilt. Chemisch betrachtet bestehen sie aus Zirkoniumdioxid, Aluminiumoxid und Magnesiumoxid sowie Gemischen dieser Verbindungen. Die kristalline Phase in polykristallinen Keramiken dominiert, eine Glasphase liegt praktisch nicht vor. Durch „Veredelung“ mit Borid, Carbid, Nitrid, Silicid, Titanat und Yttrium wird eine erhöhte mechanische, thermische und korrosive Belastbarkeit erzielt. Daher werden Oxidkeramiken fast ausschließlich als Gerüstkeramik verwandt [66, 94]. Heutzutage

verwendet man – durch fertigungstechnische Fortschritte - vornehmlich das Yttrium-stabilisierte Zirkonoxid (Y-TZP) zur Herstellung von festsitzendem Zahnersatz [84].

1.1.4 Fertigungstechnische Möglichkeiten

Aktuelle vollkeramische Materialien lassen sich fertigungstechnisch in zwei Gruppen einteilen:

- 1) Pressverfahren
- 2) CAD/CAM Verfahren.

Zusätzlich besteht zur Individualisierung und Verblendung die etablierte Technik des Schichtens und Schlickerns von Verblendkeramiken.

Beim Pressverfahren (z.B. IPS-Empress-System) wird eine in Wachs modellierte Krone, analog zum Metallgußverfahren, feuerfest eingebettet. Plastifizierte leuzitverstärkte Keramikmassen aus vorgefertigten Rohlingen werden dann bei 1180°C in den ausgebrannten Hohlraum verpresst [80]. Während der Abkühlungsphase, nach dem Pressen, führen unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten von Leuzitkristallen und der Glasmatrix zu einer Festigkeitssteigerung [71]. Optimale Leuzitkristallverteilung in der Glasphase führt zu einer Biegefestigkeit, die im Bereich von 150 – 200 MPa liegt [64]. Die Farbgebung erfolgt wiederum durch Malfarben. Diese Technik ist über das „Empress 2 System“ hin zum „e.max-Press System“ von der Firma Ivoclar Vivadent weiterentwickelt worden (s. Kapitel 1.1.5 unten).

Unter CAD/CAM versteht man eine computergestützte Herstellung von industriell vorgesinterten Keramikblöcken, die von computergesteuerten Fräsautomaten ausgeschliffen werden. Die Messdaten können durch eine Intraoralkamera, 3D Scanner des Gipsmodell oder durch taktile Abtastung, gewonnen werden. Daraufhin werden virtuelle Restaurationen konstruiert (CAD = computer aided desing). Anschließend fräst oder schleift eine Mehrachs-Vorrichtung die Restauration aus einem Keramik-Rohling (CAM = computer aided manufacturing).

Je nach Art der Keramik muss diese noch durch einen abschließenden Sinterprozess (Y-TZP) oder Kristallisationsprozess (Lithium-Disilikat) gefestigt werden.

1.1.5 Lithium-Disilikatkeramik im Speziellen

Die Firma Ivoclar Vivadent (Schaan, Fürstentum Lichtenstein) hat mit der Entwicklung und Patentierung der Lithium-Disilikatkeramik die bereits erfolgreichen Materialien Empress 1 (Leucit-verstärkte Silikatkeramik) und Empress 2 (Lithium-Disilikat-Keramik erster Generation) fortgeschrieben. Das sog. IPS e.max[®]-System ist ein Vollkeramik-System bestehend aus Lithium-Disilikat für die Press- (emax press) und CAD/CAM-Technologie (emax CAD), sowie einem Zirkoniumdioxid (emax ZIRCAD). Eine universell einsetzbare Nano-Fluorapatit-Glaskeramik (emax Ceram) steht ergänzend zur Verblendung aller IPS e.max System-Komponenten zur Verfügung [59].

Bei dieser Keramik handelt es sich um einen Lithium-Disilikat-Glaskeramik-Rohling für die Presstechnologie. Es handelt sich hierbei um eine hochfeste Glaskeramik (ca. 360-420 MPa Biegefestigkeit [57]). Die Keramikblöcke sind in drei unterschiedlichen Transluzenzen mit fünf bis zu 16 verschiedenen Farben erhältlich [58]. Darüber hinaus sind noch vier weitere Sonderausführungen in verschiedenen Farbstufen erhältlich.

Von den mechanischen Eigenschaften liegt das Material im Mittelfeld aller Vollkeramischen Materialien (s. Tabelle 2). Die werkstoffkundlichen Eigenschaften sind weitreichend untersucht und publiziert [17].

Daraus ergibt sich ein breites Indikationsspektrum, sowohl für Inlays und Venners wie auch für Teilkronen, Einzelzahnkronen und Brücken [59, 82].

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit betreffen ausschließlich Restaurationen der Lithium-Disilikatkeramik des Systems „e.max press“ der Firma Ivoclar Vivadent.

1.2 Übersicht zur klinischen Therapie mit Einzelzahnkronen

1.2.1 Indikation von Einzelzahnkronen

Die Indikation zur Überkronung eines Zahnes besteht, wenn die Zahnhartsubstanz soweit geschädigt oder durch plastische Füllungsmaterialien ersetzt ist, dass eine langfristige, stabile Rekonstruktion mit indirekten Maßnahmen zum Erhalt der anatomischen Form und zum Widerstand gegen Fraktur des Zahnes nicht mehr gewährleistet werden kann. Dies ist der Fall, wenn über zweidrittel des Kronenanteils zerstört sind. Im schlechtesten Fall muss der Zahn aufgrund der Defektgröße (durch Karies oder Fraktur vorhergehender Restaurationen) wurzelkanalbehandelt werden [76, 82].

1.2.2 Präparation eines Zahnes für eine vollkeramische Vollkrone

Zur Überkronung eines Zahnes wird dieser, einem Kegelstumpf ähnlich, mittels rotierenden, diamantierten Instrumenten geformt (präpariert).

Auf Höhe des Zahnfleischsaums wird zirkulär eine sog. Präparationsgrenze angelegt. Diese ermöglicht einen eindeutigen Abschluss und Übergang zwischen gesunder Zahnhartsubstanz und präpariertem Zahnareal.

Um ein Präparationstrauma zu vermeiden, sollten mindestens 0,7 mm Schichtdicke zur Pulpa verbleiben. So kann eine thermische Schädigung der Pulpa vermieden werden, wenn zur Kühlung von 30° C warmes Wasser mit ca. 50ml pro Minute während der Präparation zugeschaltet wird [132].

Allerdings muß zugleich eine angemessene Schichtstärke der Restauration gewährleistet werden (benötigt okklusale als auch axiale Substanzabtrag) um eine Bruchgefahr der späteren Restauration während Krafteinleitung (Kauen) zu minimieren. Für die okklusale Reduktion werden 1,5mm bis 2mm – je nach Restaurationsmaterial und Zahntyp - als ausreichend befunden [7, 14, 115]. Alle Ecken und Kanten sind abzurunden, es sind gleichmäßige und runde Übergänge zu präparieren, die Restaurationsränder jedoch sollten idealerweise einen Winkel von 90° aufweisen und scharfkantig sein. Die Nachgestaltung des okklusalen Reliefs folgt dem Anspruch gleicher Schichtdicken der späteren Restauration. Neben der

Retention ermöglicht ein Konvergenzwinkel zwischen 6° und 10° eine erhöhte Bruchfestigkeit, was vor allem das Fraktur/ Rissrisiko bei der Einprobe silikatkeramischen Restaurationen reduziert [33, 39].

Die supragingivale Präparation ist anzustreben, da die adhäsive Zementierung eine Trockenlegung voraussetzt; auch aus parodontalprophylaktischen und kariesprophylaktischen Gründen ist dies zu empfehlen. Diese Lage des Restaurationsrandes bringt außerdem Vorteile bei Präparation, Abformung, Kontrolle des Randschlusses und der Entfernung von Befestigungsmaterial [3, 98]. Sind die Restaurationsränder in Schmelz gefasst ermöglicht dies einen dauerhaft stabilen Verbund zwischen Zahn und Befestigungsmaterial – also eine bessere Randqualität [16].

Präparationsrichtlinien des Herstellers für LDS

Für die *konventionelle bzw. selbstadhäsive Befestigung* muss die Präparation retentive Flächen und eine ausreichende Stumpfhöhe von min. 4 mm aufweisen; für adhäsive Befestigung kann diese darunter liegen [23, 25, 72].

Der Hersteller gibt im Weiteren die Vorgabe: Es ist zirkulär eine Stufenpräparation mit abgerundeten Innenkanten bzw. eine ausgeprägte Hohlkehlpräparation vorzunehmen. Der Präparationswinkel beträgt 10° bis max. 30°. Die anatomische Form wird unter Einhaltung der angegebenen Mindeststärken gleichmäßig reduziert:

- Breite der zirkulären Stufe/ Hohlkehle 1,0 mm
- Reduktion des inzisalen Kronendrittels um 1-1,5 mm.
- Reduktion des vestibulären bzw. oralen Bereichs um min. 1,2 mm (Front-) und 1,5 mm (Seitenzahnbereich).

Für die adhäsive Befestigung wird derzeit ein Substanzabtrag an jeder Seite von ca. 1 mm beschrieben [60].

Die Übergänge und Kanten der Formgebung sind zu verrunden, um den Materialeigenschaften und Fertigungsnotwendigkeiten gerecht zu werden. Folgt man diesen allgemeinen Standards, zur Präparation ist es dem Zahntechniker möglich auf Basis eines Modells oder digitalen Datensatzes dieser geometrischen Form und den umliegenden sowie gegenüberliegenden Zähnen, eine Restauration im Sinne einer

Krone herzustellen.

Um ein solches Modell zu erlangen, wird in der Regel mit Elastomeren eine Abformung unter Verdrängung des Zahnfleischsaums mithilfe von Retraktionsfäden, durchgeführt.

1.2.3 Einprobe und Prüfung auf Integrität der Einzelzahnkrone

Nach Herstellung der Restauration (im Falle von emax-Press durch die Presstechnik) wird/werden diese im Patientenmund von einem Zahnarzt „einprobiert“. Dabei wird die Krone auf folgende Merkmale der Integrität geprüft:

1. Randschluss: Dieser Übergang zwischen gesunder Zahnhartsubstanz und Restaurationsmaterial ist fertigungsbedingt immer durch einen Spalt gekennzeichnet. Dieser Spalt sollte 100-150µm nicht überschreiten [20]. Der sogenannte Randspalt wird durch eine Schicht Befestigungsmaterial zwischen Zahnhartsubstanz und Restaurationsmaterial „versiegelt“.
2. Approximalkontakte: Ein Kontakt sollte zu den benachbarten Zähnen durch eine Kontaktfläche auf Höhe des anatomischen Äquators des Zahnes vorhanden sein. Dabei muss der Kontakt so gestaltet sein, dass eine Positionierung in die Endlage der Krone (geringster Randspalt) möglich ist. Außerdem darf kein Spalt zwischen den Zähnen vorhanden sein und der anliegende Druck auf die Approximalflächen muss es gewährleisten, dass eine Zahnseide zur Interdentalhygiene hindurchzuziehen ist.
3. statische Okklusion: Beim Zubiss sollten auf der okklusalen Fläche Kontaktpunkte der Gegenbeziehung (Antagonist) vorhanden sein. Diese sind in der Stärke so zu gestalten, dass auch die benachbarten Zähne, sowie Zähne im kontralateralen Kieferbereich, gleichmäßig starke Kontaktpunkte aufweisen.
4. dynamische Okklusion: Bei Artikulation/ Exkursionsbewegung des Unterkiefers sollten - dem versorgten Zahn entsprechend - dynamische (zumeist Laterotrusionskontakte) Kontakte bestehen, ohne die dynamischen Kontakte anderer Zähne in der Stärke zu beeinflussen.

5. Die Ästhetik der Restauration: Eine Krone sollte sich in die Zahnreihe harmonisch in der Zahnfarbe einfügen. Dazu muss die Grundfarbe und farbliche Ausgestaltung (vom Zahnhals bis zur Schneide) eine Einpassung in das vorhandene Zahnfarbspektrum der Dentition erlauben. Weiter sollte der Übergang (Rand) keine sichtbare Unterbrechung (etwa durch eine Verfärbung) des Zahnes aufweisen.
6. Die Form und Textur des Zahnes sollte den Anforderungen der Odontographie genügen (Zitat Buch). Die Oberflächen sollten dabei maximal die Nachempfindung natürlicher Texturen haben und müssen ubiquitär eine geringe Rauigkeit bzw. hohe Glätte aufweisen, um Anlagerung von Speisen, Farbstoffen und Biofilm nicht zu begünstigen. Eine polierte bzw. versiegelte Oberfläche schützt gleichwohl das unterliegende Material vor Ermüdung.

Sind alle Anforderungen an die Integrität erfüllt, folgt das definitive Einsetzen der Krone.

1.2.4 Einsetzen und definitive Befestigung von Einzelzahnkronen

Hierbei kann der Zahnarzt auf verschiedene Befestigungsmaterialien zurückgreifen. Die Auswahl ist abhängig vom verwendeten Restaurationsmaterial [65, 82]:

Das einfachste Entscheidungskriterium ist die Biegefestigkeit des Restaurationsmaterials:

- Hochfeste Keramiken (Biegefestigkeit ≥ 350 MPa) können konventionell – also zementiert – oder auch adhäsiv - eingesetzt werden.
- Keramiken mit einer Biegefestigkeit unter 350 MPa (Feldspat, Glaskeramiken) sollten ausschließlich adhäsiv befestigt werden [12, 127].

Zusätzlich geben die Hersteller von Vollkeramik-Systemen in der Regel an, welche Befestigungsmodi für die jeweiligen Restaurationsarten möglich und empfohlen bzw. zugelassen sind.

Die Hauptfunktion eines Befestigungsmaterials ist in erster Linie, den Spalt zwischen der Restauration und dem Zahn zu füllen und damit, durch mechanische Befestigung, eine Dislokation während der Funktion zu verhindern. Fälschlicherweise

wird häufig die gesamte Gruppe der Befestigungsmaterialien als „Zemente“ bezeichnet.

Befestigungsmodalitäten für Einzelzahnkronen aus Lithium-Disilikatkeramik

Je nach gewählter Indikation können IPS e.maxPress Restaurationen adhäsiv, selbstadhäsiv oder konventionell befestigt werden. Demzufolge sind Kronen aus LDS volladhäsiv (z.B. mit Variolink, Variolink II, Variolink esthetic), universell (z.B. mit Multilink) und auch selbstadhäsiv (z.B. SpeedCEM oder RelyX Unicem) einzusetzen (s. Abbildung 1).

In der Prothetischen Abteilung der Universität Tübingen werden Einzelzahnkronen aus LDS grundsätzlich mit dem System „Multilink Automix“ (Fa. Ivoclar Vivadent) definitiv eingesetzt.

Ein Wechsel von „Multilink Automix“ zum volladhäsiven Vorgehen des Systems „Variolink“ (ebenfalls Fa. Ivoclar Vivadent) wird nur dann vollzogen, wenn sich die Anforderungen des Behandlers/ Patienten bezüglich der endgültigen Farbe nur mittels Variolink (welches eine breitere Farbauswahl bietet) umsetzen ließen und die absolute Trockenlegung klinisch erreichbar ist.

Ein Wechsel zum selbst-adhäsiven Befestigungszement, RelyX Unicem (3M Espe) ist nur dann statthaft, wenn die klinische Situation keine suffiziente relative Trockenlegung und Sicherung insb. im subgingivalen Bereich ermöglicht. Dabei muss die Stumpfgeometrie allerdings den Anforderungen der Retentionsform nahekommen [88, 99].

Vorbehandlung von Zahn und Restauration zum Einsetzen.

Alle zur Vorbehandlung und dem Einsetzen notwendigen Materialien liegen im System „Multilink“ (Ivoclar Vivadent) bereit.

Die Restorationsinnenflächen (Kronenlumen) werden nach Reinigung mit 99% Alkohol (gem. Herstellerangaben) 20 Sekunden mit 9,2% Flusssäure (HF) geätzt und danach eine Minute unter fließendem Wasser bzw. mit Luft-Wasser-Spray gereinigt.

Nach Trocknung wird das Silan „Monobond S“ aufgetragen und nach einer Minute Einwirkzeit verblasen.

Die Zahnoberflächen reinigt man mit fluoridfreier Reinigungspaste – in der Regel Bims-Schlamm - mittels rotierender Bürstchen von Anlagerungen wie etwa Resten des provisorischen Zements [6, 111]. Nach Abspülen und relativer Trockenlegung des Einsetzbereichs (Sextant oder Quadrant) werden die präparierten Zahnoberflächen mit Multilink Primer A und B (im Verhältnis 1:1 gemischt), mittels Microbrush oder Pinsel bestrichen, und nach 30 Sekunden (Schmelz) bzw. 15 Sekunden (Dentin) verblasen.

Einsetzvorgang und unmittelbare Nachsorge.

Die Kronenlumen werden dann mit dem Befestigungsmaterial befüllt und die Restauration eingebracht. Überschüsse können ad hoc mit kurzer UV-Beleuchtung (in der Regel smart-light, Dentsply DeTrey) einfach entfernt werden.

Nach abschließendem Aushärten (je Seite 20 Sekunden) werden verbleibende Überschüsse entfernt. Abschließend werden nochmals Approximalkontakte mit Zahnseide, Randschluss und Okklusion beurteilt (s.Kapitel 1.2.3).

Minimale Veränderungen in der Okklusion werden mit Wasserkühlung und Gummipolierern (EVA DIAPOL Set) adjustiert und ein Termin zur Nachkontrolle (Baselineuntersuchung) der Restaurationen mit dem Patienten vereinbart.

Indikationen

Material	Ästhetische Befestigungscomposites		Universelles Befestigungscomposite	Selbstadhäsiver Compositezement
	Variolink® Veneer	Variolink® II	Multilink® Automix	SpeedCEM
Aushärtung	Lichthärtend	Licht-/dualhärtend	Selbsthärtend mit optionaler Lichthärtung	Selbsthärtend mit optionaler Lichthärtung
Methode	Adhäsiv: Syntac oder ExcITE Total-Etch	Adhäsiv: Syntac oder ExcITE DSC Total-Etch	Adhäsiv: Multilink Primer A/B Selbstätzend	Selbstadhäsiv
Metall/metallgestützt				
Inlays/Onlays	-	-	✓	✓
Kronen/Brücken	-	-	✓	✓
Wurzelstifte	-	-	✓	✓
Maryland-Brücken	-	-	✓	-
Glaskeramiken (z.B. leuzit-verstärkt)				
Inlays/Onlays	✓	✓	✓	-
Veneers	✓	✓	-	-
Kronen	-	✓	✓	-
Lithium-Disilikat (LS₂)				
Table Tops (Okklusale Veneers)	✓	✓	✓	-
Thin Veneers/Veneers	✓	✓	-	-
Inlays/Onlays	✓	✓	✓	-
Teilkronen	-	✓	✓	-
Kronen	-	✓	✓	✓
3-gliedrige Brücken	-	✓	✓	✓
Oxidkeramiken (Zirkonium / Aluminium)				
Kronen/Brücken	-	-	✓	✓
Wurzelstifte	-	-	✓	✓
Indirekte Composites				
Inlays/Onlays	✓	✓	✓	-
Kronen	-	✓	✓	-
Wurzelstifte	-	✓	✓	✓

✓ Empfohlene Produktkombianation - Nicht empfohlen

Abbildung 1 Herstellerangaben zur Befestigung: Abbildung des Herstellers aus dem Internet

– Angaben für LDS sind rot eingerahmt. Empfohlene Befestigungsmaterialien (Spalten), Indikationen und Werkstoffe (Zeilen)

http://www.ivoclarvivadent.de/de-de/p/alle/produkte/vollkeramik/ips-e_max-system-zahnarzt/downloadcenter-ips-e_max

1.3 Bewertung der Qualität und klinische Bewährung von Kronen

Die Qualität einer Einzelzahnkrone wird zuvorderst anhand ihrer Integrität (s. Kapitel 1.2.3, Seite 10) bewertet. Die Leistungsfähigkeit ermittelt sich über die Konstanz bzw. Veränderung der Integrität über die Zeit.

Biologische und technische Ereignisse können allein oder auch kombiniert auftreten und in verschiedenem Ausmaß die Qualität und damit die Integrität einer Restauration inkl. Pfeilerzahn beeinflussen.

Die Bewährung ist deshalb mit drei Zuständen verbunden:

1. Keiner Veränderung = Erfolg;
2. einer Veränderung die ein Handeln erfordert, um weiterhin die Integrität sicher zu stellen = kein Erfolg, aber Überleben
3. einer Veränderung, die den nachhaltigen Verlust der Integrität bedeutet = kein Erfolg, kein Überleben.

1.3.1 Biologische Veränderungen

Biologisch können Reaktionen des Endodonts, der Zahnhartsubstanz und der umliegenden Gewebe (Parodont) betreffen.

Um endodontische Probleme zu bewerten ist die Sensibilität maßgeblich. Darunter versteht man zum einen, eine Überempfindlichkeit des Patienten auf heiß oder kalt (etwa durch Getränke und Speisen), oder einen anhaltenden Schmerz nach Sensibilitätsprüfung mit Trockeneis. Zum anderen kann der Verlust der Sensibilität eines Zahnes auf Kälte ein Zeichen für eine endodontische Reaktion/ Erkrankung sein.

Eine weitere biologische Problematik stellt eine Karies am Zahn dar. Eine sog. Sekundärkaries findet sich als kariöser Defekt im Randbereich zahnärztlicher Restaurationen, der meist durch eine Spalt- oder Stufenbildung zwischen Restaurationsmaterial und Zahnhartsubstanz verursacht wird [54]. Die Sekundärkaries kann entweder iatrogen, durch unzureichende Passung des Kronenrandes oder/und durch mangelhafte Mundhygiene des Patienten verursacht werden. Kariöse Läsionen bedürfen der Behandlung, da durch diese nicht nur eine fortschreitende Veränderung/ Schwächung der Zahnhartsubstanz bedingt ist, sondern auch eine Infektion des Endodonts erfolgen kann.

Endodontische Probleme treten neben Hypersensibilitäten daher auch durch Infektionen am apikalen Bereich - also im Kieferknochen – zu Tage. Hierbei können Schmerzen beim Aufbeißen (Nahrungsaufnahme, Knirschen/ Pressen) oder auch Schwellungen/ Abszesse symptomatisch sein. Eine Befundung dieses Zustands erfolgt klinisch durch einen sog. „Perkussionstest“ und zur Sicherung radiologisch durch Zahnfilme. Liegt ein solches Problem vor, muss zur endodontischen Behandlung eine Trepanation des Zahnes durch die Okklussalfläche vorgenommen werden. Diese Perforation bedingt neben einer Schwächung des Zahnes auch eine Verletzung der Integrität der Krone (insb. des okklussalen Reliefs). Endodontische Probleme erhöhen daher das Risiko eines Restaurations- und Zahnverlustes.

1.3.2 Veränderungen am Randspalt (Übergang biologisch-materiell)

Die Randpassung ist eines der wichtigsten Kriterien für die klinische Qualität und den Langzeiterfolg von Vollkeramikronen [90, 107, 120]. Randungenauigkeiten erhöhen die Dezentrierungsrate und Undichtigkeit[61]. Durch eine ungenaue Randpassung ist die Anhaftung von Bakterien und Bildung eines schwer zu entfernenden Biofilms erhöht [124, 125]- Dadurch kann sich die Zusammensetzung der subgingivalen Mikroflora ändern [74], und letztlich eine parodontale Erkrankung entstehen und in letzter Konsequenz zum Zahnverlust führen kann [13]. Undichte Kronenränder können, wie oben benannt zu Sekundärkaries wie auch zur Inflammation der vitalen Pulpa, führen [11, 13, 47, 109].

Die Randbeschaffenheit wird deshalb durch visuelle Inspektion sowie das Abtasten mittels einer Kuhhornsonde untersucht.

1.3.3 Technisch bedingte Veränderungen

Wie eingangs beschrieben (s. Kapitel 1.1.1) bedingen werkstoffkundliche und mechanische Eigenschaften maßgeblich die Widerstandsfähigkeit gegenüber Kaukräften sowie das ästhetische Ergebnis einer Restauration.

Technisch kann es daher zu Rissen, Abplatzungen (chip-off) und Frakturen kommen. Das Ausmaß von Abplatzungen verändert die Formgebung und damit die Integrität – Funktionell (etwa durch Verlust eines Approximalkontaktes) oder auch ästhetisch (etwa durch Verlust der Zahnlänge insb. bei Frontzähnen). Abplatzungen verursachen Rauigkeiten begünstigen eine Rissausbreitung im Material, die letztlich wiederum eine Fraktur der Restauration wahrscheinlicher macht.

Für das optimale Erscheinungsbild ist nicht nur die Form sondern auch die Farbgebung. Die Farbe muss sich in die Zahnreihen optimal eingliedern, um dem Patienten das Gefühl geben zu können, einen vollwertigen Zahnersatz (im Sinne des Wortes) zu haben. Bei der Beurteilung der Farbe wird daher zwei Kriterien Wert gelegt. Zum einen wird die Farbe im Vergleich zu den Nachbarzähnen/Gesamtbild der Zahnreihen beurteilt.

Zum anderen wird auch der ggf. para- oder supragingival liegende Kronenrand betrachtet auf Verfärbungen untersucht.

Möglich sind in beiden Fällen gravierende, nicht entfernbare Verfärbungen die den Zahnersatz objektiv sichtbar werden lassen. Solche Verfärbungen und deren „Nicht-entfernbarkeit“ stehen in direktem Zusammenhang mit der Kompetenz des Materials (Farbauswahl) und dessen Oberflächengüte (Polierbarkeit, Porositäten) über die Zeit.

1.4 Klinische Bewährung von Vollkeramikronen

Ein Restaurationsmaterial muss sich in der jeweiligen Indikation an den etablierten Technologien und –materialien messen. Das betrifft zum einen die „Nicht-unterlegenheit“ und im Nachgang die „Überlegenheit“.

Studien belegen bei keramikverblendeten Kronen Überlebensraten von 89% nach 10 Jahren [67], 97% nach 5 – 10 Jahren [130], 100% nach 10 Jahren [87] und 96% nach 8 Jahren [106]. Durch die Etablierung der Vollkeramiksysteme im Laufe der letzten 20 Jahre, liegt es in der Natur der Sache, dass Langzeitbeobachtungen von vollkeramischen Kronen und Brücken nur in begrenztem Maße vorliegen. Ein Anhaltspunkt bieten daher die „alten“ Systeme, die sich nicht mehr auf dem Markt befinden. Bei „In-Ceram“-Kronen liegt die Erfolgsrate bei 100% nach 3 Jahren [97] bzw. 99% nach 5 Jahren [113] berichtet. „IPS-Empress 1“-Kronen wurden mit Erfolgsraten von 98% nach 4 Jahren [27] und 95% nach bis zu 11 Jahren [40] untersucht. Eine Übersicht von El-Mowafy & Brochu gibt Erfolgsraten von 92% bis 99% nach 3 bis 3,5 Jahren an [30]. IPS-Empress 2 Kronen zeigten Überlebensraten von 100% nach 24 Monaten [122], 38 Monaten [134] und 60 Monaten [79]. Dem ersten Teil eines Reviews aus dem Jahre 2007 zufolge gibt es allgemein keine signifikanten Unterschiede zwischen Vollkeramik- und Metallkeramik-Kronen. Die Überlebensrate nach fünf Jahren lag bei Vollkeramik-Kronen bei 93,3% (95% confidence intervall (CI): 91,1%-95%), bei Metallkeramik-Kronen lag sie bei 95,6% (95% CI: 92,4%-97,5%). Die Kronen wurden auch bezüglich des verwendeten Materials analysiert. Dichtgesinterte Alumina-Kronen (Procera) zeigten hier die höchste Überlebensrate mit 96,4% nach fünf Jahren, gefolgt von Leucit-verstärkten Glaskeramik-Kronen (Empress 1) und InCeram-Kronen mit Überlebensraten von 95,4% und 94,5%. Eine signifikant niedrigere Überlebensrate von 87,5% nach 5 Jahren zeigte sich bei Glaskeramik-Kronen auf Basis von Feldspaten (z.B. Vita Mark 2). Auch bezüglich der Position im Mund zeigten sich unter den Vollkeramik-Kronen Unterschiede. Dichtgesinterte Alumina-Kronen (94,9%) und verstärkte Glaskeramik-Kronen (93,7%) zeigten im posterioren Bereich ähnliche Überlebensraten nach fünf Jahren wie Metallkeramik-Kronen.

Für Prämolaren und Molaren waren die niedrigeren Überlebensraten nach fünf Jahren bei Glaskeramik-Kronen (84,4%) und InCeram-Kronen (90,4%) statistisch signifikant ($P=0,009$, $P=0.028$) [92].

Andere technische Komplikationen wie Retentionsverlust oder biologische Komplikationen wie Karies und Vitalitätsverlust, waren bei beiden Rekonstruktionstypen ähnlich [112].

1.5 Studienfragen und Hypothese der vorliegenden Untersuchung

- Welche Komplikationen treten im kurzfristigen klinischen Verlauf bei LDS Kronen auf?
- Welche Komplikations- und Überlebensraten können daraus geschätzt werden? Gibt es Risikofaktoren, die Komplikationen oder Versagen begünstigen?
- Welche Qualität erreichen Restaurationen aus Lithium-Disilikat im klinischen Einsatz?
- Wie verändert sich die Qualität im kurzfristigen klinischen Verlauf?
- Wo ordnet sich diese Versorgungsform im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Einzelzahnversorgung mit vollkeramischen Materialien ein?

Hypothese der vorliegenden Untersuchung ist, dass sich – verglichen mit etablierten/ älteren und vergleichbaren Vollkeramiksystemen bei Restaurationen aus Lithium-Disilikatkeramik in der Indikation „Einzelzahnkrone“ keine klinisch relevanten Unterschiede in der Leistungsfähigkeit bestehen. Die Maßgabe einer zulässigen Abweichung für Unter- resp. Überlegenheit wird mit jeweils 20% festgelegt.

1.6 Ziele der vorliegenden Untersuchung

Um die Evidenz der klinischen Bewährung von Lithium-Disilikat-basierten Einzelzahnkronen im Allgemeinen und des Systems „emax-press“ in adhäsiver Befestigung im Speziellen zu verbessern, werden die klinischen Daten des Nachsorgeregisters „Vollkeramik“ der Poliklinik für Zahnärztlichen Prothetik am Universitätsklinikum Tübingen ausgewertet und im Kontext bis dato publizierter Evidenz betrachtet und abschließend bewertet.

Die Untersuchung soll Risikofaktoren bei der Anwendung dieser Versorgungsform identifizieren, um eine adäquate Patientenberatung und –behandlung mit gepressten LDS-Kronen zu ermöglichen.

2 Material und Methode

2.1 Auswahl der Patienten – Definition der Kohorte

An der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik ist die Versorgung mit Lithium-Disilikat-Kronen eine Routinebehandlung. Diese Versorgungsform wird von geschulten Assistenz- und Oberärzten sowie dem Leiter der Abteilung, Patienten eingegliedert, sofern Wunsch und Indikation (s. Kapitel 1.2.1 auf Seite 8) zur Versorgung vorliegen.

Für die Versorgungen mit Lithium-Disilikatkeramik bestehen daher abteilungsspezifische Standardarbeitsanweisungen hinsichtlich Präparation und Befestigungsmodi, die die Herstellerangaben zum Einsatz dieses Werkstoffs bzw. Medizinprodukts berücksichtigen (siehe dazu Kapitel 1.2 ab Seite 8).

Nach Eingliederung von Vollkeramik-Restaurationen werden alle Patienten zur „Nachsorge in der Vollkeramik“ an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik in ein dokumentiertes Nachsverfahren einbezogen; das sogenannte „Qualitätssicherungsregister Vollkeramik“ (kurz: „Keramikregister“).

Hier werden Patienten mit Vollkeramikrestaurationen mittels pseudonymisierten Material-Codes geführt. Des Weiteren wird für jeden Patienten bei der ersten Nachuntersuchung ein sogenannter Case Report Form (CRF) angelegt. In diesem werden zusätzlich zur Patientendokumentation Zahn- und Hygienestatus, sowie Befunde der Sichtprüfung und Ereignisse an den Restaurationen bzw. den versorgten Zähnen zusätzlich zur Patientenakte dokumentiert (s. Kapitel 2.2 sowie Kapitel 2.3).

Die Nachuntersuchungen entsprechen zahnärztlichen Routine-Untersuchungen gem. BEMA-Z/GBA-Richtlinien. Allerdings werden auch die Beobachtungen eines „Nicht-Auftretens“ von Komplikationen oder minimale Veränderungen an der Restauration bzw. der umliegenden Schleimhaut anhand eines Bewertungsschemas dokumentiert. Durch die kontinuierlichen Überwachungen/ Auswertungen trägt diese Dokumentation zusammen mit den „Komplikationsreports“ zur Früherkennung von

technischen und biologischen Komplikationen bei. Dies erhöht die Sicherheit für den einzelnen Patienten, aber auch die Behandlungsabläufe (SOPs) der Abteilung und indirekt damit die Therapiesicherheit folgender und bereits behandelter Patienten.

Das Angebot zur dokumentierten Nachsorge erhalten Patienten bei Eingliederung einer Vollkeramik-Restauration. Termine dazu werden regulär schriftlich vergeben. Soweit organisatorisch möglich und vom Patienten akzeptiert, wird angestrebt, dass ein Prüfarzt, der nicht Behandler des Patienten ist, die zahnärztliche Untersuchung und Dokumentation vornimmt.

Für die vorliegende Arbeit wurden alle Patienten vorgesehen, die seit Einführung der Lithium-Disilikatkeramik „emax-press“ (Fa. Ivoclar Vivadent) mit Kronen versorgt wurden.

Dazu wurden alle Patienten mit dem Materialcode „maxP“ berücksichtigt, die bis zum 27.02.2011 Kronen erhalten hatten. Lag bis zum 31.12.2010 keine aktuelle Nachuntersuchung vor, wurden die Patienten zur Nachuntersuchung eingeladen. Für die Auswertung berücksichtigt wurden alle Nachuntersuchungen bis zum 31.12.2012. Für die Auswertung der Daten lag das positive Votum der Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät und dem Universitätsklinikum der Eberhard Karls Universität Tübingen vor.

2.2 Klinische Datenerhebung/ Untersuchungen

Die Datenerhebung zur Integrität der eingesetzten vollkeramischen Restaurationen erfolgt im Rahmen einer Nachuntersuchung, die von der gesetzlichen Krankenkasse mindestens ein Mal jährlich empfohlen und finanziert ist. Diese umfasst für Patienten mit vollkeramischen Restaurationen, die diese Nachsorge auch in Anspruch nehmen möchten:

- Die Routine-Kontrolluntersuchung mit zahnärztlichem Befund und Hygienestatus
- Die Frage nach Zufriedenheit und Problemen insbesondere mit der Versorgung (Aufbisschmerzen, Missempfindungen)
- Die eingehende Sichtprüfung der Restauration(en) ggf. mit bewaffnetem Auge

2.2.1 Erhebung des Zahnstatus

Der Zahnstatus gem. Ziffer 01/ BEMA wird von einem Prüfarzt/ Prüferärztin der Helferin diktiert und von dieser in den „Zahnstatus“ eingetragen. Ergänzt wird der Befund eines jeden Zahnes durch die Perkussionskontrolle (Axiale Klopfprovokation zur Feststellung eines Schmerzes) und die Sensibilitätskontrolle (Ziffer Vopr.) mittels CO₂-Schnee (max. 10 Sekunden Abkühlung des Zahnes bis zur Rückmeldung eines Kälteempfindens durch den Patienten).

2.2.2 Befragung des Patienten

Zu Beginn der Untersuchung wird jeder Patient gefragt, ob ihm eine subjektive Veränderung seit der letzten Untersuchung aufgefallen sei. Patienten beschreiben diese mit einem klaren „Nein“ oder einem „Ja, es stört mich“ wie auch einem „Ja, aber es stört mich weiter nicht.“ In diesem Kontext angegebene Missempfindungen/ Problemen wird gesonderte Aufmerksamkeit bei der nachfolgenden Sichtprüfung gelegt.

2.2.3 Restaurations- spezifische Dokumentation

Jeder Zahn mit einer vollkeramischen Versorgung wird einer Sichtprüfung unterzogen. Dabei sind für jeden Zahn das Restaurationsmaterial, sowie die Befestigungsart der Restauration bekannt. Außerdem ist bekannt, die wievielte Generation an vollkeramischer Versorgung aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik dieser Zahn besitzt.

Die Sichtprüfung erfolgt nach Befreiung von Wasser-, Speichel- und ggf. Blutbelägen des Zahnes mittels Luft-Wasser-Spray. Der Patient wird erneut nach Überempfindlichkeiten auf Wärme/ Kälte sowie beim Aufbiss/ Kauen befragt. Zusätzlich kann eine Provokation mittels Luftbläser bzw. erneute Perkussion in axialer und horizontaler Richtung erfolgen, um die Aussage zu verifizieren.

Besonderes Augenmerk richtet sich auf die Kontrolle der Oberflächen nach Rissen, Abplatzungen, Frakturen wie auch Lockerungen (s. Kapitel 2.3.) sowie der übrigen Integrität hinsichtlich der Qualitätsrelevanten Variablen (s. Kapitel 2.3.7).

2.3 Erfolgs- und Qualitätsbewertungen der Konstruktion

Um den folgenden qualitätsrelevanten Variablen eine zeitliche Zuordnung zu geben werden jeder Untersuchung eines Zahnes folgende Daten anhängig:

- das Beobachtungsdatum, sowie ein
- CDA Ranking (s. Kapitel 2.3.1), modifiziert nach Ryge [22, 50], und im Komplikationsfall (s. Kapitel 2.3.2 ff.)
- das Datum (Komplikationsdatum) des
 - AE (adverse events) und/oder
 - SAE (serious adverse event)

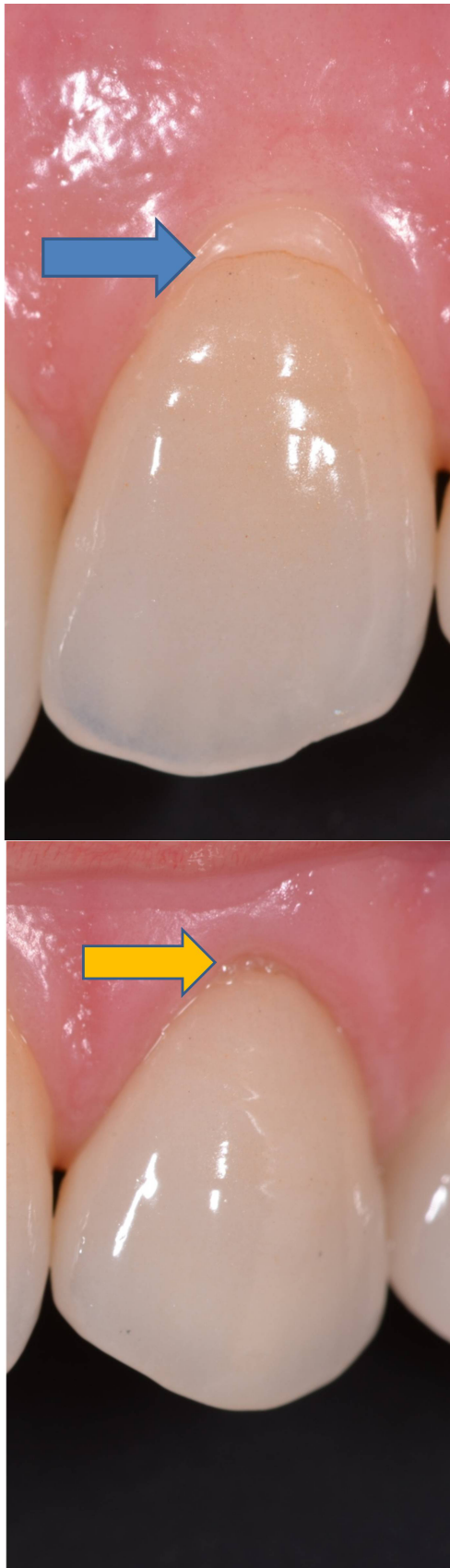
2.3.1 Qualitätsbewertung nach Ryge & Cvar – USPH Criteria

Die Qualitätsbewertungen und Durchführung dieser Qualitätsbewertung sind in der Literatur hinreichend beschrieben [22, 50, 108].

Kurz gefasst wird jedes Qualitätskriterium – insbesondere die, welche die Integrität der Restauration berühren, (siehe hierzu: Kapitel 1.2.3 auf Seite 10 sowie Kapitel 1.3 auf Seite 15) graduiert abgestuft:

- A = einwandfrei, sehr gut bis gut, ohne Mängel
- B = leichte Mängel, akzeptabel (z.B. Chip-off Grad 1, unkritische Sondierbarkeit des Randes)
- C = wesentliche Mängel, die den Erfolg in Frage stellen und eine Intervention nötig machen (z.B. Abplatzung der Verblendung)
- D = Mängel, die ein Versagen kennzeichnen (z.B. Sekundärkaries)

Zur Kalibrierung der Prüfarzte werden Bildtafeln vorgehalten, um eine einheitliche (reproduzierbare) Bewertung zu ermöglichen.



CDA Rating:

Randspalt sondierbar /
liegt kein Dentin offen = B

dezente Randverfäbung = B
keine Karies am Rand = A
kein Farbunterschied = A

→ Code: **Sierra**
(=akzeptabel)

CDA Rating:

Randspalt sondierbar &
es liegt **Dentin offen = C**

keine Randverfäbung = A
keine Karies am Rand = A
kein Farbunterschied = A

→ Code: **Tango**
(=fraglich)

Abbildung 2 Bildtafel zur Kalibrierung der Prüfvärzte: Randspalten können sondierbar sein. Das Ausmaß der Abstufung in der Qualität wird durch die Beurteilung ob eine Dentinwunde besteht (oben nein, unten ja) getroffen.

In Zusammenschau aller CDA Kriterien und Bewertungen erfolgt die Einstufung der Restauration (Rating) als:

- R = Romeo = einwandfrei
 - kein AE, kein SAE, alle Kriterien = A)
- S = Sierra = akzeptabel
 - kein AE, kein SAE, mindestens ein Kriterium = B)
- T = Tango = fraglich
 - mindestens ein AE oder mindestens ein Kriterium = C, kein SAE)
- V =Victor = gescheitert
 - SAE, ggf. auch noch ein AE oder mindestens ein Kriterium = D).

Siehe dazu auch Abbildung 2 auf vorheriger Seite und Abbildung 3 auf Seite 29.

2.3.2 Unerwünschte Ereignisse (AE) die Komplikationen sind

Das unerwünschte Ereignis kann als

biologisches Ereignis einer Hypersensibilität, Aufbisssschmerz und tief dringender Randverfärbung und/oder als **technisches Problem** einer Dezementierung, Riss, Chip off und Substanzverlust klassifiziert werden.

In jedem Fall bedeutet es eine Beeinträchtigung der Restauration ggf. inkl. des Zahnes und somit eine Limitierung des Erfolgs (Zensierung) – nicht aber des Überlebens.

2.3.3 Ereignisse die zum Versagen oder Verlust führen (SAE)

Das schwerwiegende unerwünschte Ereignis kann **technischer Natur**

Im Sinne einer ausgedehnten Verblendfraktur, Gerüstfraktur, Substanzverlust bei Randspaltsondierung und auch **biologischer Provinienz** im Sinne von Karies mit Bezug zur Versorgung, Bedarf einer Wurzelkanalbehandlung, Fraktur des Zahnes, Riss im Zahn, parodontaler Defekt, der eine Extraktion verlangt, sein.

In jedem Fall bedeutet es das Versagen der Restauration ggf. inkl. des Zahnes und somit eine Limitierung des Erfolgs und des Überlebens (Zensierung).

2.3.4 Bewertung technischer Komplikationen in/an der Keramik

Der Anstieg von Berichten aus klinischen Studien über Keramikabplatzungen hat die Frage aufgeworfen, welche Kriterien zugrunde gelegt werden sollten, um über Erfolg oder Misserfolg einer Vollkeramikrestauration zu entscheiden. Bezeichnungen wie "minor chipping" (geringfügige Abplatzung) [100], "partial chipping" (Teilabplatzung), "technical complications" (technische Komplikation) [109, 112] und "biological complications" (biologische Komplikation) haben in der dentalen Terminologie Fuß gefasst und die Einteilung in Erfolg und Misserfolg bei diesen Kronen und Brücken verkompliziert.

Die Entwicklung der Terminologie ergibt sich möglicherweise dadurch, dass diese Arten von Frakturen sehr klein sind und die Funktion und Ästhetik nicht beeinträchtigen. Hier müssen wir also präziser in unserer wissenschaftlichen Beobachtung von Frakturen und deren Klassifikation sein, um damit die verschiedenen Arten der Frakturen zusammen mit ihrer Lokalisation und dem Design des Zahnersatzes einordnen zu können [2]. Anusavice empfiehlt, das von Heintze und Rousson aufgestellte Klassifikationssystem zur Bearbeitung von Chippings zu benutzen, wenn es um die Beobachtung der Frakturanfälligkeit von Keramikrestaurationen geht.

Hier werden Abplatzungen in drei Grade eingeteilt [53]:

- | | |
|--------|--|
| Grad 1 | kleine Verblendabplatzung, die durch Politur behoben werden kann |
| Grad 2 | moderate Verblendabplatzung, die mit Composite repariert werden kann |
| Grad 3 | schwerwiegende Verblendabplatzung mit Notwendigkeit einer Neuanfertigung |

Dieses führt dazu, dass Komplikationen grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt werden können: relative und absolute Misserfolge.

Zu den absoluten Misserfolgen zählen solche, die eine Entfernung der Restauration beinhalten und somit eine Neuanfertigung nach sich ziehen (Rating Victor). Zu den relativen Misserfolgen (z.B. Grad 1 und 2) sind solche zu zählen, die zwar eine Beschädigung der Restauration beinhalten, aber keine Neuanfertigung erfordern (Rating Sierra oder Tango).

2.3.5 Einteilung technischer Misserfolge:

Absolute Misserfolge(CDA-Ranking Victor)

- Gerüstfraktur
- Randfraktur bzw. Randspaltbildung durch Substanzverlust
- Keramikabplatzung Grad 3
- schwerwiegende farbliche Fehlpassung in Zahnreihe und Dentition mit Bedarf der Neuanfertigung
- Mehrfache Dezementierung mit Neuanfertigung
- objektivierbarer Wunsch des Patienten zur Neuanfertigung (z.B. wegen Farbe, Formempfinden etc.)

Relative Misserfolge (CDA-Ranking Tango)

- Keramikabplatzung des Grades 1 und 2 (s. oben, s.)
- klinisch sichtbare, aber vom Patienten akzeptierte Verfärbungen der Restauration

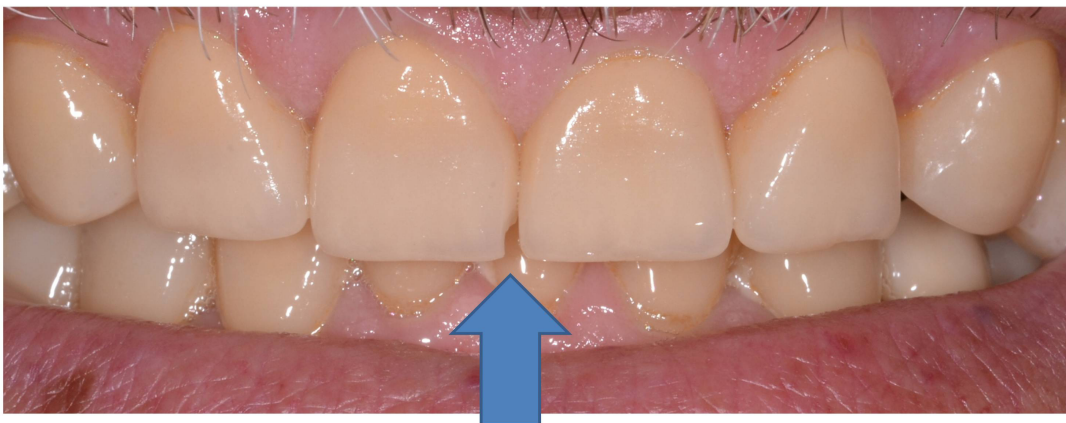
Eine beispielhafte Abgrenzung zur Beurteilung der technischer Misserfolge findet sich auf der Folgeseite. Mit Hilfe solcher Bildtafeln wird es ermöglicht , daß Prüfärzte die selbe klinische Situation gleich bewerten (s. Abbildung 3)

CDA Rating: AAAA + **Keramikabplatzung Grad 1**



→ **Code: Sierra (=akzeptabel)**

sechs Einzelzahnkronen im Oberkiefer
CDA-Rating: AAAA (einwandfrei)



+ **Keramikabplatzung des Grad 2**

→ **Code: Tango (=fraglich)**

Abbildung 3 Auszug aus Bildtafeln zur Kalibrierung der Prüfvärzte: Technische Komplikationen der Keramik limitieren bzw. bestimmen die Qualität der Restauration, nachdem die Bewertung von Randintegrität, Karies und Farbe eine einwandfreie Qualität aufwies, mussten die Kronen durch technische Komplikationen „heruntergestuft“ werden.

2.3.6 Einteilung biologischer Misserfolge

Des Weiteren können biologische Komplikationen auftreten. Dieses können Zähne mit endodontischem Behandlungsbedarf, eine Kariestherapie mit Bezug zur Restauration oder parodontale Erkrankungen sein. Biologische Komplikationen wurden nicht zwangsläufig als absoluter Misserfolg gewertet. Auch hier unterscheiden wir, Karies mit Bezug zur Restauration wobei a) Karies entfernt werden kann und anschließend mit Composite versorgt wird, und b) Entfernung und Neuanfertigung der Krone.

Bei endodontischem Behandlungsbedarf wird auch in absolutem und relativem Misserfolg unterschieden.

Absolute Misserfolge (CDA-Ranking: V)

- parodontale Erkrankungen mit Zahnverlust (inkl. Extraktion)
- Verlust der anatomischen Struktur des Zahnes durch Wurzelbehandlung oder Kariestherapie
- Zahnverlust nach Wurzelbehandlung

Relative Misserfolge (CDA-Ranking T)

- Wurzelbehandlung ohne Verlust der anatomischen Struktur (nur Trep-Öffnung)
- Kariestherapie inkl. Füllung mit Bezug zur Restauration

Diese Kriterien bestimmen die Qualitätsstufe des CDA-Rankings.

2.3.7 Qualitätskriterien zur Integrität der Krone

Hinsichtlich der Integrität werden routinemäßig folgende Kriterien untersucht:

- Randspalt sondierbar?
nein=A; ja=B/ → liegt Dentin offen? nein=B; ja=C
→ Fraktur Substanzverlust nein=C; ja=D.
- Randverfärbung?
nein=A; ja=B → dringt in die Tiefe? nein=B; ja=C
- Karies am Rand?
nein=A; ja=D
- Farbunterschied?
nein=A; Ja=B → gravierend/ fremd? nein=B; Ja=C

2.4 Datenmanagement

2.4.1 Datenerfassung

Sämtliche dokumentierte klinische Befunde und unerwünschte Ereignisse (s. Kapitel 2.2 und 2.3) werden als ärztliche Dokumentation in der Patientenkarte dokumentiert, und zusätzlich in den CRFs des „Nachsorgeregisters Vollkeramik“ erfasst.

Diese zusätzliche Dokumentation dient der internen Qualitätskontrolle und Bewertung der eingesetzten Restaurationen. Sie ist eine freiwillige Leistung der Abteilung und als Dienstanweisung „Vollkeramik“ implementiert, wodurch jedem Patienten die Teilnahme offensteht, jedoch angeboten werden muss. Durch das entstandene „Register Vollkeramik“ können frühzeitige Probleme mit Versorgungsformen und Materialien erkannt werden. Dazu müssen die vorliegenden Dokumentationen, also die CRFs, in ein EDV System eingegeben werden.

2.4.2 Dateneingabe

Für die Computerisierung der Daten wurde ein Tabellensystem mit der Statistiksoftware JMP erstellt. Die Dateneingabe erfolgte an einem Standard UKT-PC. Die Datei wurde auf den Servern des Universitätsklinikums abgelegt und gesichert.

Die Struktur der Datentabellen richtete sich nach Erfordernissen, die für relationale Datenbanken gelten. Zur Eingabe wurden zwei Tabellen angelegt, eine Master-Tabelle und eine CDA-Tabelle. Die Dateneingabe erfolgte mittels zwei Augensystem

(1-Personen-Dateneingabe). Stichprobenartige Kontrollen, um die korrekte Eingabe zu überprüfen, wurden durch den Studienleiter der Abteilung durchgeführt.

Eine vollständige Mastertabelle (Master-Cohort-Table) wurde angelegt.

I. Master-Tabelle

Die Mastertabelle beinhaltet eine vollständige Übersicht aller Patienten, die eine emax-press Nummer (maxP-Nr.) besitzen und eine keramische Krone aus selbigem Material in situ haben. Die Daten sind pseudonymisiert und nur anhand ihres Datenblattes zu identifizieren.

Der Datensatz setzt sich weiter aus FDI-Code, Pat-Code = Studien-Code, Geschlecht, Geburtsdatum, Versorgungsnummer, Behandler, Einsetzmaterial, Wurzelkanalbehandlung, Stiftversorgung, letztes Untersuchungsdatum, Bemerkungen, Ereignis-Datum und welches Ereignis inkl. Klassifikation (AE, SAE, Entfernt) eingetreten ist, zusammen. Angehängt wurden aus diesen Spalten errechnete Zensoren und Ereigniszeiten sowie die Lage des FDI in den Kiefern (anterior: FDI= x1-x3; posterior: FDI= x4-x8).

II. CDA Tabelle

In der CDA-Tabelle ist der pseudonymisierte Patient mit seiner Pat-Id. zu identifizieren. Hier wurden **alle** Nachuntersuchungsdaten (Observation-Date) erfasst.

Die Datensätze der CDA-Tabelle setzen sich aus folgenden Variablen zusammen:

Pat-Code = Studien-Code, Behandler, FDI-Code, Art der Restauration, Lage des vestibulären Kronenrandes,

und die CDA-Kriterien: Rand sondierbar, Karies, Randverfärbung, Farbeinpassung der Versorgung in die Zahnreihe. Daraus ergibt sich ein abschließendes CDA.

Die Tabellen können anhand des Datenschlüssels verknüpft werden (relationale Datenstruktur). Dieser Datenschlüssel setzt sich aus Pat-Id, FDI-Code des Zahnes und Versorgungsnummer zusammen. Jeder Datensatz repräsentiert eine restaurative Einheit, also eine Krone.

III. Tabelle mit einer randomisierten Kohorte (one out of each patient) in selben Design wie I.

2.4.3 Datenkontrolle

Die vollständige Datenkontrolle umfasste folgende Schritte:

- Kontrolle der CRF-Bögen nach Dokumentation des klinischen Befundes
- Prüfung der Bögen durch Studienleiter
- Prüfung der Tabellen nach Dateneingabe mittels Stichproben Kontrolle und subset-Tabellen

2.5 Statistische Auswertung

2.5.1 Deskription der Kohorte

Für die den Patienten abhängigen Variablen (z.B. Alter, Geschlecht, Anzahl der Versorgungen) wurden Mittelwert, Standardabweichung und Medianwert errechnet. Ebenso für die Variablen der jedem Patienten anhängigen Versorgungen (z.B. Beobachtungszeit). Außerdem wird die Prävalenz von Ereignissen bzw. Beobachtungen ermittelt. Die Prävalenz ist die Maßzahl als Quotient einer betroffenen Entität (z.B. Komplikation) in der Gesamtzahl aller vergleichbarer Entitäten (z.B. Zähne).

Weiter werden Häufigkeitsverteilungen der Qualitätsbewertungen (Wertung der Kriterien sowie CDA-Ratings) über die Zeit im Jahresturnus sowie zum Zeitpunkt der maximalen Beobachtung einer jeden Krone erstellt.

2.5.2 Berechnung von Komplikations- und Überlebensraten

Die Kaplan-Meier-Methode erlaubt es, bei Überlebenszeiten die Überlebensrate (\overline{UR}) zu schätzen. Die Überlebensrate ist der Anteil der Beobachtungseinheiten, die den Zeitpunkt t überleben. Die Kaplan-Meier-Methode berücksichtigt die Informationen aller Beobachtungseinheiten so lange, wie diese beobachtet worden sind. Zur Veranschaulichung dient die graphische Darstellung der Überlebensrate in Abhängigkeit von der Zeit in einer Kurve.[63]

Zwei Arten von kumulativen Überlebenszeitschätzungen werden routinemäßig in Studien mit Zahnersatz aufgeführt:

- Die Erfolgswahrscheinlichkeit (oder Erfolgsrate), welche ein Maß für Restaurationen ist, die ohne jegliche Beeinträchtigungen überleben (kein AE, kein SAE).
- Die Überlebenswahrscheinlichkeit (oder survival), welche ein Maß ist für alle Restaurationen die überlebt haben, auch wenn es zu einer Abplatzung kam oder sie repariert wurden.
- Überlebenswahrscheinlichkeit nach dem Kriterium „in situ“ ist ein Maß für alle Restaurationen/ Zähne, die tatsächlich durch Versagen verloren gegangen sind – also entfernt werden mussten.

Darüber hinaus hat sich die „Komplikationsrate“ etabliert. Dieser Wert verhält sich zur Erfolgsrate wie:

$$\text{Komplikationsrate} = 1 - \text{Erfolgsrate}$$

$$\text{Erfolgsrate} = 1 - \text{Komplikationsrate}$$

Mittels Kaplan-Meier-Verfahren werden Komplikations- und Erfolgsraten für die Restaurationen berechnet. Darüber hinaus erfolgen Berechnungen mit den abhängigen Variablen: Lage der Restauration im Kiefer (Front- vs. Seitenzahnggebiet) sowie endodontischer Zustand des Zahnes (mit Wurzelkanalbehandlung/ ohne Wurzelkanalbehandlung).

Die Berechnung aller Kaplan-Meier-Graphen schließt eine Berechnung der 95% Konfidenzintervalle mit ein.

2.5.3 Vergleich von Komplikations- und Überlebensraten abhängiger Variablen

Der Logrank-Test ist ein nicht parametrischer Test zum Vergleich von Überlebensraten in zwei oder mehr unverbundenen Stichproben. Unter Annahme einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% des Fehlers erster Art werden Unterschiede mit $p < 0.05$ als statistisch signifikant angesehen. Der Log-Rank Test wird zum Vergleich der Komplikations- und Überlebensraten verwendet.

2.5.4 Validierung von Komplikations- und Überlebensraten

Den Empfehlungen von Hickel et.al. folgend wird durch das Vorliegen mehrerer Restaurationen bei einem Patienten eine zufällige Auswahl von Kronen zur Berechnung der kumulativen Überlebens- bzw. Komplikationswahrscheinlichkeit angefertigt [55]. Die Auswahl von je einer Restauration eines jeden Patienten erfolgt durch einmalige zufällige Auswahl einer Konstruktionsnummer mittels der RandomInteger-Funktion des Softwarepakets JMP (Version 10, SAS Comp.). Die ermittelten Komplikations- und Überlebensraten werden mit denen der Gesamtkohorte gemittelt, um so eine validierte Schätzung zu erhalten.

2.5.5 Auswertung der Qualitätsvariablen

Die Qualitätsvariablen werden im für Ordinalvariablen zulässigen Kontext ausgewertet und vornehmlich in der relativen Häufigkeit mit Berücksichtigung nicht vorliegender Daten (missing values = N) in Jahresintervallen dargestellt. Über die Jahresintervalle hinaus, sind die Werte der letzten Beobachtung der Restaurationen maßgeblich.

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung der untersuchten Kohorte

3.1.1 Behandelte Patienten & eingegliederte Konstruktionen

Im Zeitraum von 29.11.2006 bis 27.02.2011 wurden insgesamt 57 Patienten (22 Männer und 35 Frauen) mit insgesamt 369 Kronen aus e.max press von der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen entsprechend den unter Kapitel 1.2 auf Seite 8 beschriebenen Indikationen und Vorgehensweisen versorgt.

3.1.2 „Loss-to-Follow-up“ und ausgeschlossen von Auswertung

48 Kronen von 13 Patienten wurden nicht ausgewertet (patients loss for evaluation 22%):

- 7 Patienten (4m, 3w) mit 16 Kronen (10 anterior, 6 posterior, 7 UK, 9 OK) konnten nicht nachuntersucht werden. Damit beträgt die Rate „loss to follow-up“ 4,3% (16 von 375 Kronen).
- Die 32 Konstruktionen der anderen 6 Patienten (3m, 3w) wurden aus folgenden Gründen der Vergleichbarkeit ausgeschlossen („close out“ 8,9% (32 von 359 Kronen): Die vorliegenden Abweichungen sind in Tabelle 3 genannt.

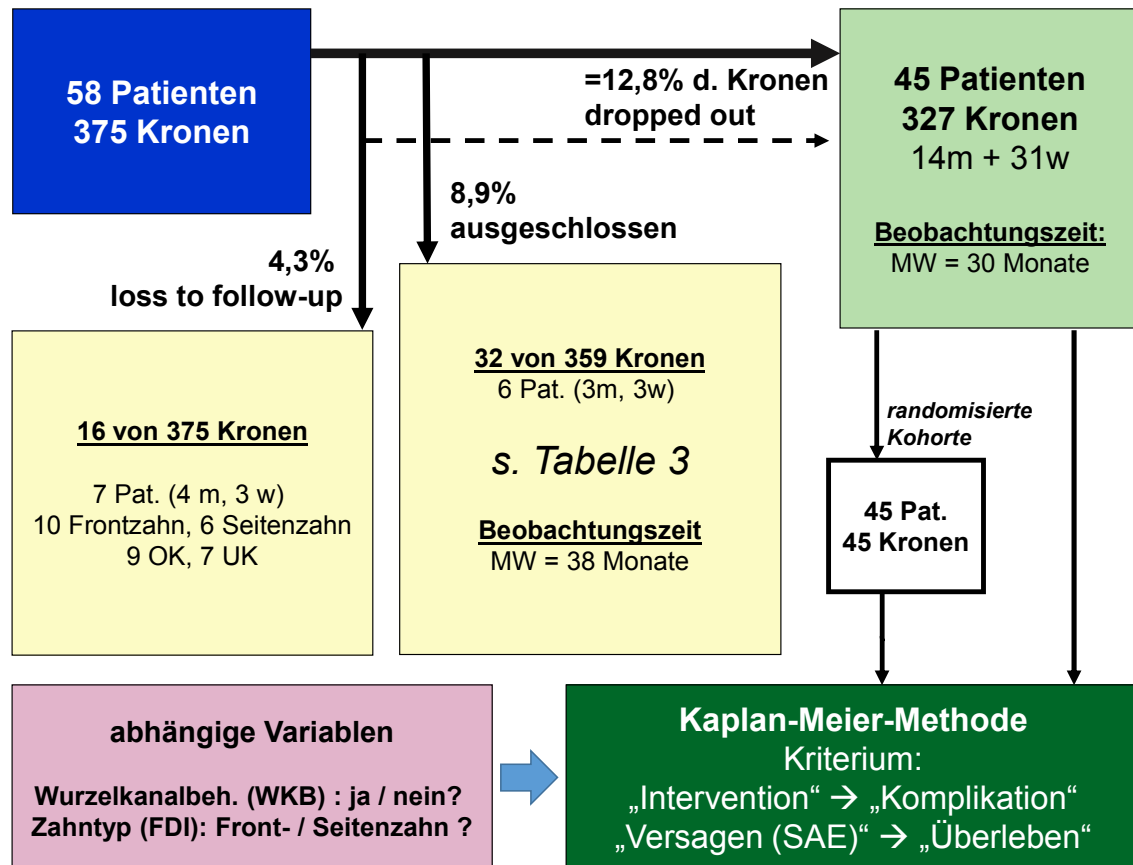


Abbildung 4 Modifiziertes CONSORT Flowchart zu den untersuchten Patienten und Restaurationen aus dem Nachsorgeregister „Vollkeramik“ mit der Eigenschaft: Materialcode = maxP (emax press). (übersetzt von [56])

Ergebnisse

Tabelle 3 Ausschlussprotokoll der nicht ausgewerteten Versorgungen (closed out)
 Die Tabelle zeigt in den Zeilen jeweils die ID und das Geschlecht eines Patienten sowie die Anzahl und Lage der Kronen im/in dem/den Kiefer/n gefolgt vom Grund des Ausschlusses hinsichtlich der Vergleichbarkeit. Angefügt sind die Beobachtungszeit und Ereignisse, die bei diesen Kronen in dieser Zeit beobachtet wurden. (translated Table 1 from [56])

Patienten-ID (Geschlecht)	N Kronen	Anterior/ Posterior	OK/ UK	Grund	Beobachtungszeit in Monaten	Beobachtete Ereignisse
#13 (m)	4	4 / 0	4 / 0	2x2 verblockte Kronen	47	keine
#14 (m)	12	12/ 0	6/6	4x3 verblockte Kronen	48	keine
#95 (m)	1	1/0	1/0	Befestigung mit RelyX- Unicem	42	keine
#06 (w)	1	1/0	1/0	Befestigung RelyX Unicem	32	Chip-off inzisal
#18 (w)	13	0/13	6/7	Präparation / Biss	26	keine
#01 (w)	1	1/0	1/0	Befestigung RelyX Unicem	48	keine
3m, 3w	32	19 /13	19 / 13		MW=38 Median= 47	

3.1.3 Patienten & Konstruktionen in der Auswertung

Es wurden 327 Kronen bei 45 Patienten (14m, 31w) ausgewertet. Dieses entspricht einem drop-out von 12,8% der eingegliederten Kronen und 23% der versorgten Patienten.

Das Durchschnittsalter der Patienten bei Eingliederung des Zahnersatzes (s. Abbildung 5) betrug im Median 41, im Mittelwert 43 Jahre (Range=17-73 Jahre, SD=15,4).

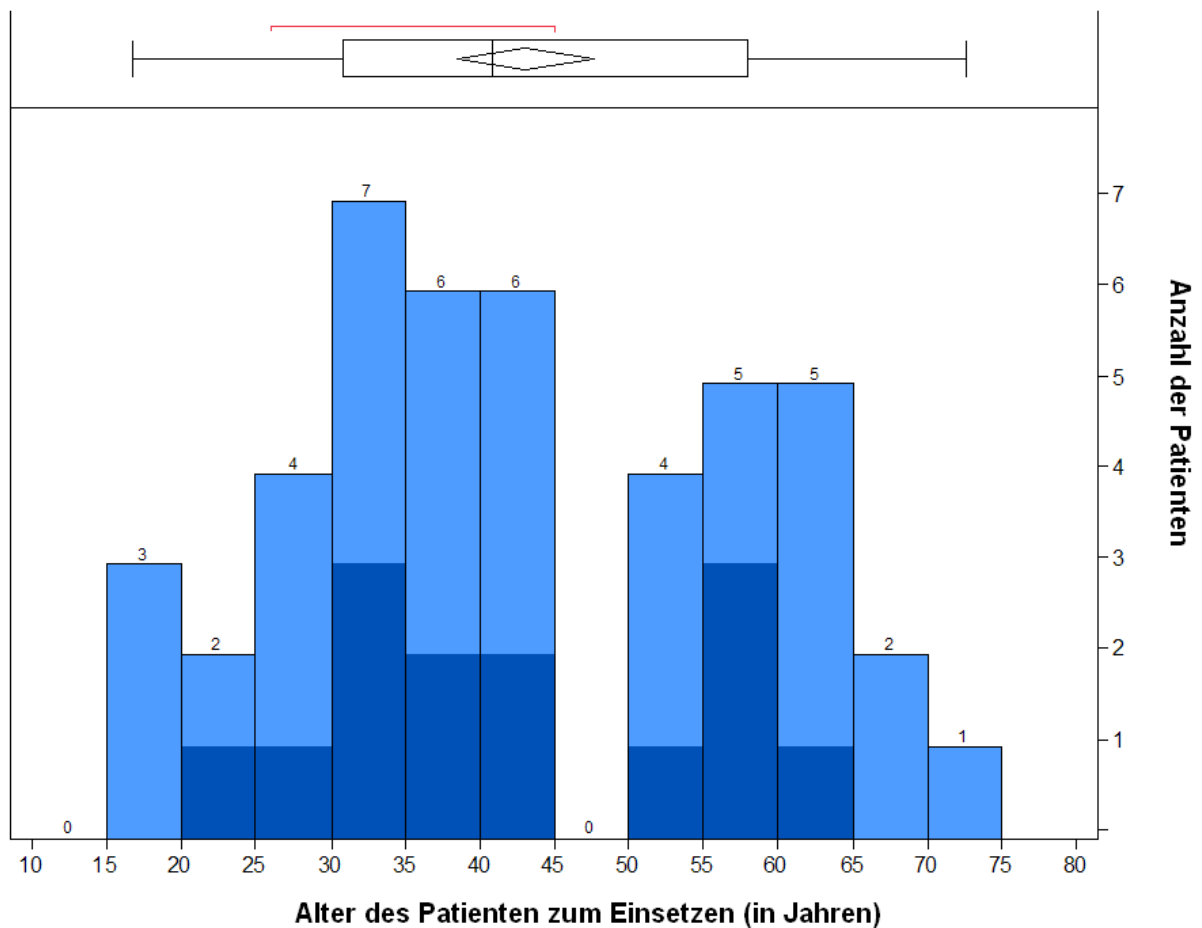


Abbildung 5 Verteilung des Alters der untersuchten Patienten.

Bezugsdatum ist das Datum des ersten Einsetzens einer e-max press Krone zum Geburtsdatum. Das Alter ist auf der x-Achse in Jahresgruppen zu 5 Jahren aufgetragen. Die Anzahl der Patienten in dieser Altersgruppe sind auf den Säulen bzw. der y-Achse aufgetragen. Dunkel markierte Felder zeigen die Verteilung der Männer auf die Altersgruppen.

Da jeder Patient im arithmetischen Mittel sieben Kronen erhalten hat, wird in Abbildung 6 die Verteilung der Kronen auf die Patienten dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Hälfte der Patienten (23 von 45) zwischen ein und drei Kronen trägt. Die andere Hälfte mehr als vier. 3 Patienten erhielten eine sog. „Gesamtrehabilitation“ bei der alle 28 Zähne vorhanden waren und überkront wurden bei 3 weiteren Patienten ist dies bei reduziertem Zahnbestand ebenso der Fall.

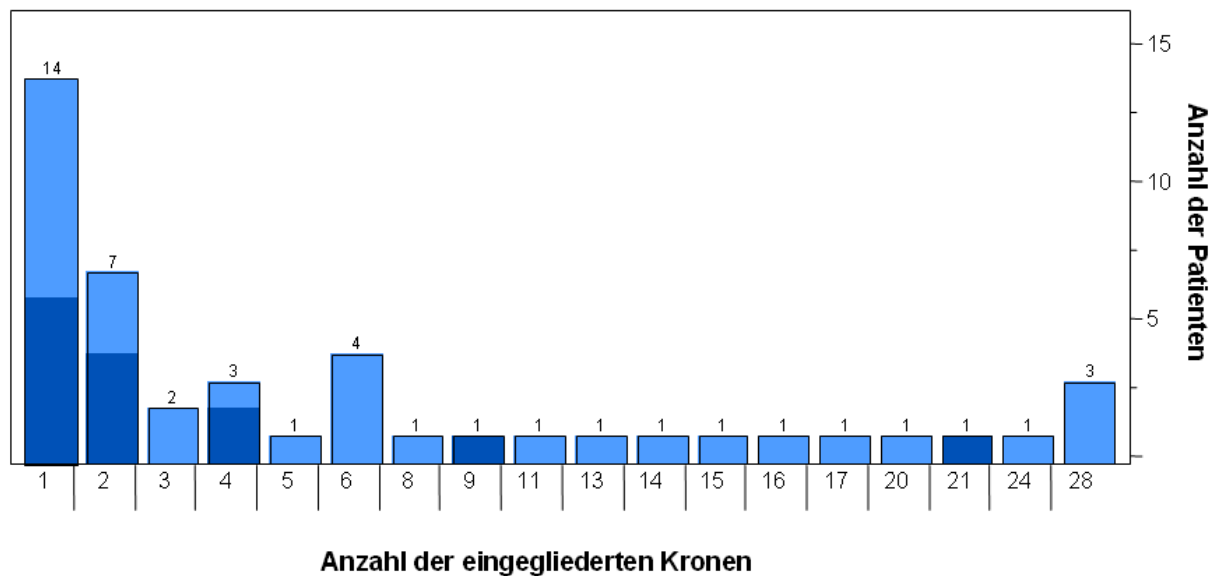


Abbildung 6 Verteilung der eingegliederten Kronen auf die ausgewerteten Patienten
 Dargestellt ist die Anzahl der Kronen auf der x-Achse sowie die Häufigkeit auf der y-Achse. Männliche Patienten sind dunkel markiert.

Darunter waren 40 Konstruktionen bei 10 Patienten Folgeversorgung einer früheren Vollkeramikversorgung aus derselben Abteilung.

Die Verteilung auf die Kiefer und Kieferabschnitte finden sich in Abbildung 7.

Man erkennt eine Gewichtung auf Frontzähne im Oberkiefer (40%). 46% aller Restaurationen sind Seitenzähne und verteilen sich mit 21% auf den Oberkiefer und mit 24% auf den Unterkiefer. Insgesamt liegen 62% der Restaurationen im Oberkiefer vor.

10,7% der Zähne (n=35) waren non-vital und wurzelkanalgefüllt (s. Abbildung 8).

Ergebnisse

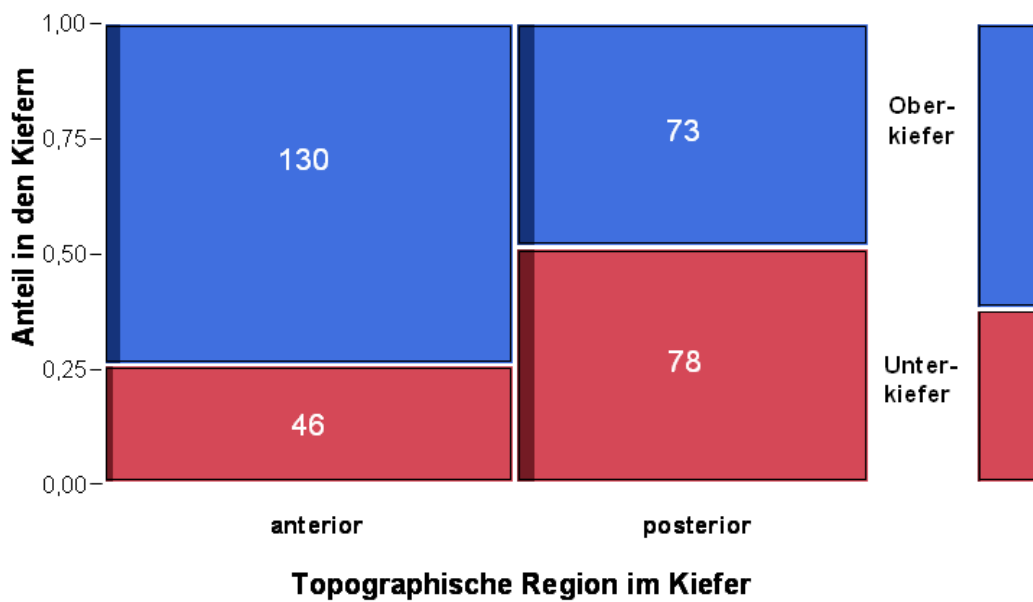


Abbildung 7 Verteilung der 327 nachuntersuchten Kronen auf und in die Kiefer.

Der Anteil von Kronen, die eine interventionsbedürftige Komplikation aufwiesen, ist schattiert dargestellt. Dunkel unterlegt wurden alle Kronen, bei denen ein klinisch interventionsbedürftiges Ereignis (Komplikation oder Versagen = AE oder SAE) im Laufe der Beobachtungszeit vorlag (translated and adapted from [56])

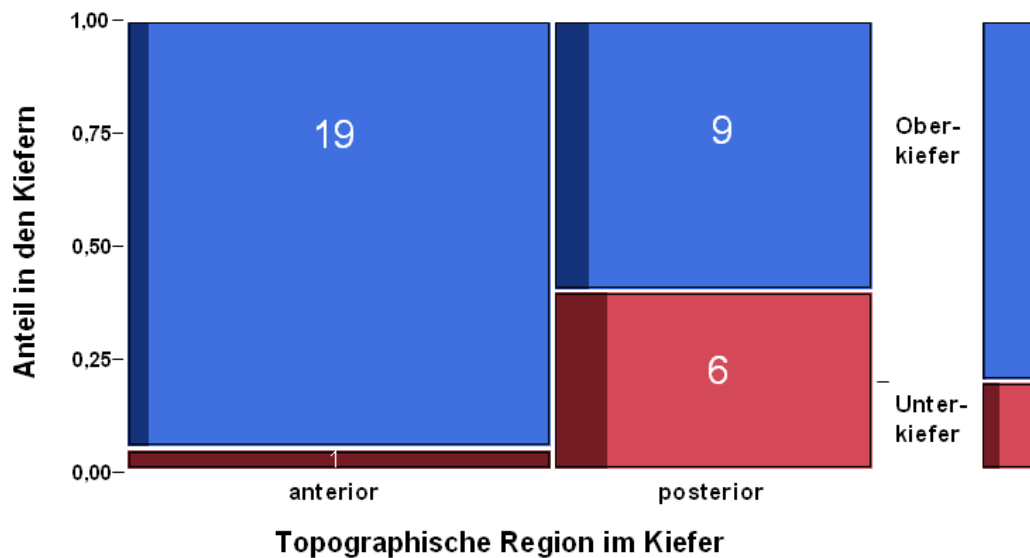


Abbildung 8 Verteilung der wurzelkanalbehandelten (WKB) Zähne auf die Kiefer und Kieferregionen. Der Anteil von Kronen, die eine interventionsbedürftige Komplikation aufwiesen, ist schattiert dargestellt.

31 der 35 wurzelkanalbehandelten Zähne hatten einen Wurzelstift (89%). Am häufigsten vom System Cosmopost (Ivoclar Vivadent, N=18) und Rebuilda Post (Voco n=8). Davon waren 24 Patienten (7m, 17w; Alter: MW=43, Median=40, Range=20-73 Jahre) betroffen.

3.2 Beobachtungszeitraum & beobachtete Ereignisse

Alle nach untersuchten Kronen wurden über einen Zeitraum von 4 bis zu 51 Monaten beobachtet (siehe Abbildung 9). Die Mediane Beobachtungszeit betrug 28 Monate (MW=30 Monate, SD=11,6 range= 3,5-51,1Monate).

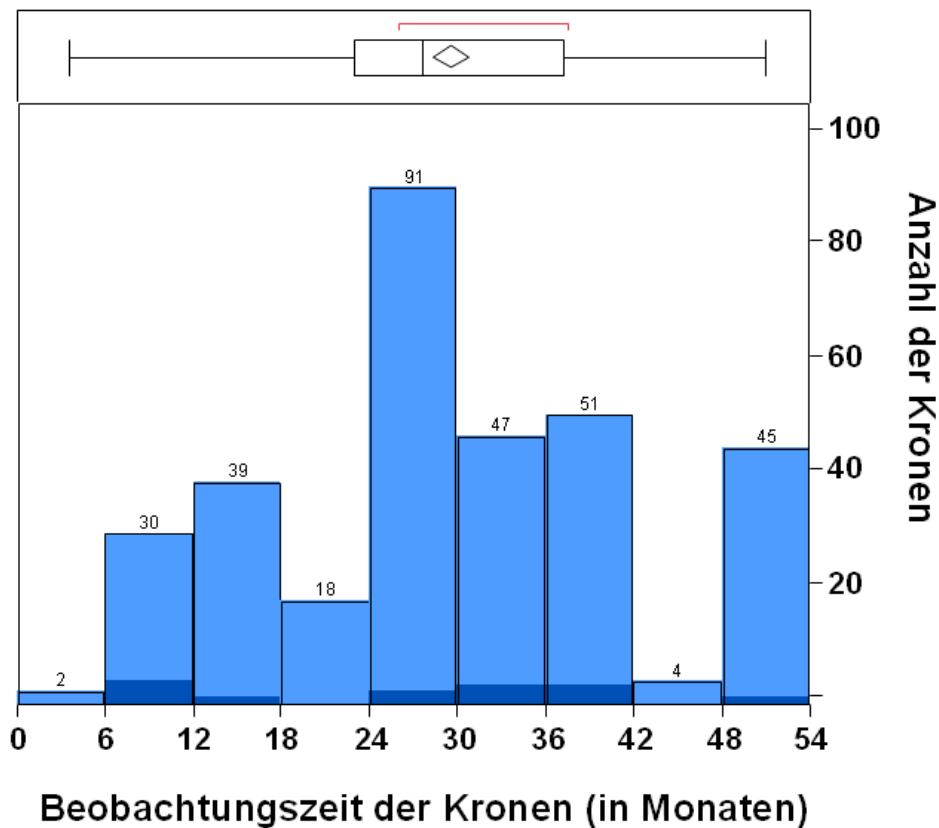


Abbildung 9 zeigt die Beobachtungszeit der Kronen als Häufigkeitsverteilung im Halbjahresintervall (x-Achse) und trägt die Anzahl der Kronen auf der y-Achse auf. Bezugsdatum ist die letzte Nachuntersuchung zum Einsetzdatum der Krone. Dunkel schattiert sind die 14 Kronen, an welchen Ereignisse (Komplikationen/ Misserfolg) beobachtet wurde.

3.2.1 Beschreibung der beobachteten Ereignisse

Die Verteilung aller Kronen mit interventionsbedürftigen Ereignissen auf die Kiefer und Regionen ist schattiert unterlegt und in Abbildung 6 auf Seite 40 dargestellt.

Im Einzelnen wurde bei 11 Patienten an 14 Kronen insgesamt 15 interventionsbedürftige Ereignisse beobachtet und wie in Tabelle 4 ersichtlich als Komplikation (AE) bzw. Versagen (SAE) gewertet.

Die Prävalenz der Komplikationen beträgt 4,3 % (14 von 327 Kronen).

Die Hälfte davon sind Misserfolge (7 von 15) und die Prävalenz von Versagen beträgt daher 2 % (7 von 327 Kronen) siehe Tabelle 4 auf der Folgeseite.

Nur vier der sieben Kronen mit schwerwiegenden Ereignissen sind entfernt bzw. ersetzt worden. Damit erfüllen 4 der 327 Kronen nicht mehr das Kriterium „in situ“ (s. auch Abbildung 16 auf Seite 51).

Die anderen drei der sieben Kronen konnten mit konservierenden Maßnahmen (Zwei Versorgungen jeweils einer Sekundärkaries mittels Composite-Füllung in Säure-Ätz-Technik; 1x Trepanation und Wurzelkanalbehandlung [WKB] einer endodontischen Komplikation) behandelt werden und sind weiter „in situ“.

Ergebnisse

Tabelle 4 Auflistung und Wertung der beobachteten Ereignisse

Patient	Zahn (FDI)	Ereignis(se)	beobachtet nach Monaten	Wertung
05 (w)	11	Retentionsverlust	51	AE
	11	Fraktur der Krone	51	SAE
17 (w)	23	Sekundärkaries	26	SAE
42 (m)	27	Retentionsverlust	21	AE
	47	Retentionsverlust	34	AE
57 (m)	23	Chip off	4	AE
59 (m)	36	Endodontische Kompl./ Wurzelkanalbehandlung	3	SAE
61 (w)	15	Chip off	11	AE
67 (w)	21	Fraktur der Krone	34	SAE
79 (26	Chip off	7	AE
80 (w)	12	Chip off	8	AE
13 (m)	31	Fraktur des Zahnes	14	SAE
34 (w)	25	Chip off	18	AE
	37	Sekundärkaries	18	SAE
	45	Fraktur der Krone	40	SAE
11 Patienten; Prävalenz 24%	14 Kronen	5x chip off 3x Retentionsverlust 2x Sekundärkaries 4x Fraktur der Krone 1x Fraktur des Zahnes 1x WKB	MW=21 SD=14,6	7 SAE 8 AE

3.2.2 Validierung der weiteren Berechnungen durch eine randomisierte Kohorte

Der Randomisierung (s. Kapitel 2.5.4 auf Seite 35) folgend entstand eine Kohorte von 45 Patienten mit 45 Kronen, Alter und Geschlechtsverteilung bleiben dabei unberührt. Die Verteilung der Konstruktionen ist in Abbildung 10 dargestellt. Es resultiert eine Verteilung von 51% allein im anterioren Oberkiefer. Dagegen weitere 40% im Seitenzahnbereich (22% im UK und 18% im OK). Im Oberkiefer liegen somit 69% der Restaurationen vor. Diese Verteilung weicht nicht signifikant von der der Gesamtkohorte ab, vergleiche hierzu Abbildung 7 auf Seite 41 und Abbildung 10 auf Seite 46.

Die Beobachtungszeit dieser 45 Kronen (s. Abbildung 11) beträgt im Median 24 Monate (MW=25; SD=13,1; min=3,5; max=51 Monate). In dieser Zeit wurden an 4 Kronen Komplikationen beobachtet. Zwei wurden als absolute Misserfolge klassifiziert (Fraktur der Krone, Trepanation bei endodontischer Komplikation). Die 2 anderen Misserfolge sind minimale Chip-offs (Grad 1) der Verblendkeramik, welche eine Politur erforderten. Daraus ergibt sich eine Komplikationsprävalenz von 8,7% (Gesamtkohorte = 4,6%).

Ergebnisse

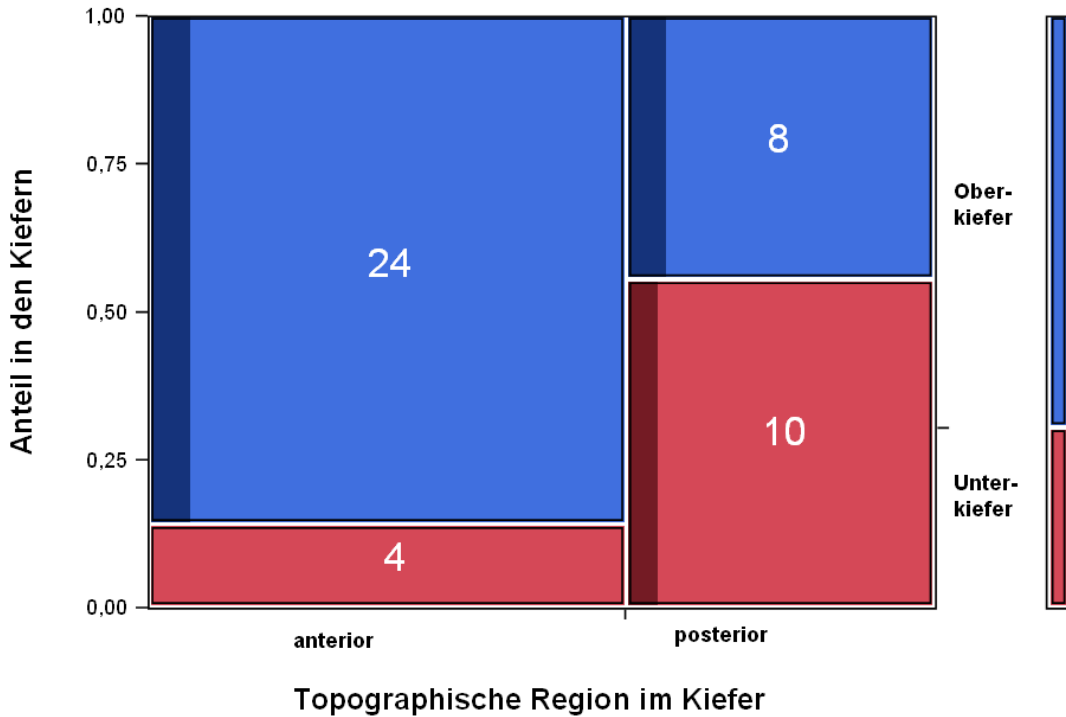


Abbildung 10 Verteilung der 45 randomisiert ausgewählten Kronen

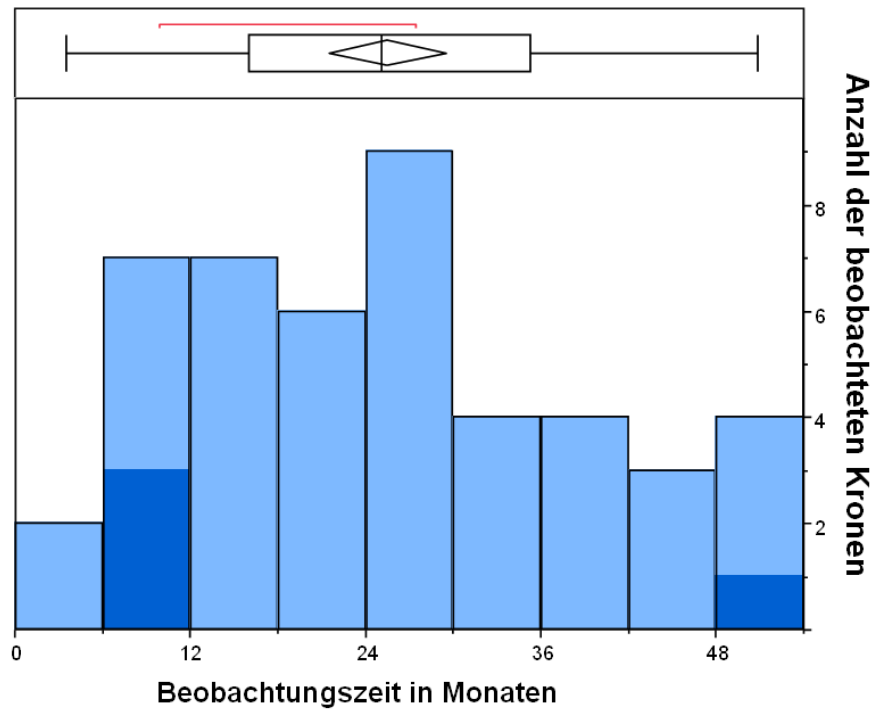


Abbildung 11 Beobachtungszeit in der 45 randomisiert ausgewählten Kronen Die Beobachtungszeit ist in 6 Monatsblöcken auf der x-Achse aufgetragen. Die Anzahl der jeweils beobachteten Konstruktionen ist auf der y-Achse abgebildet. Dunkel unterlegt sind die Konstruktionen, bei denen eine Komplikation beobachtet wurde.

3.3 Ereigniszeitanalysen zu Komplikationen und Versagen

Die Komplikationsrate unter dem Kriterium jeglicher interventionsbedürftiger Ereignisse (Auftreten eines AE und/oder SAE) beträgt 3.5% (CI=0,02-0,06; Kronen unter Risiko=233) auf 24 Monate. Durch die validierte Kohorte kann eine mittlere Komplikationsrate von 5.4% (eine aus 20 Kronen) binnen 2 Jahren geschätzt werden. Bei 45 Kronen unter Risiko beträgt die mittlere Komplikationsrate auf 48 Monate 7.1% (CI=0,03-0,13). (s. Abbildung 12)

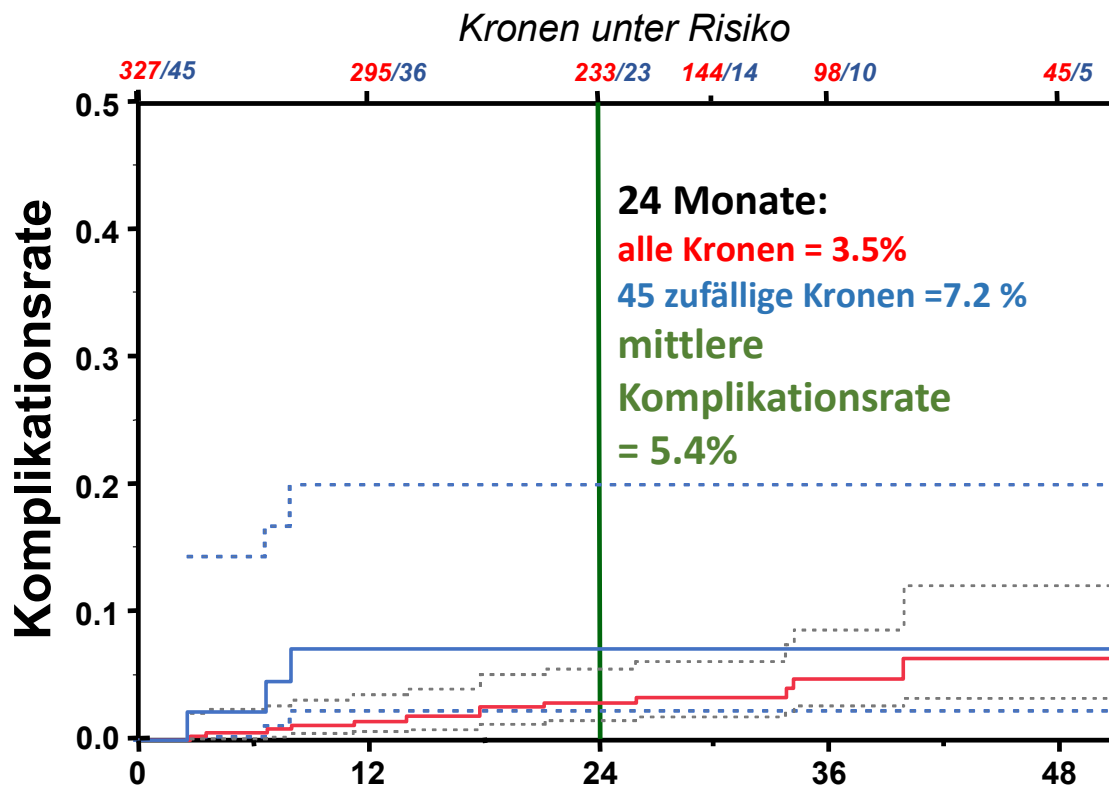


Abbildung 12 Schätzung der Komplikationsrate anhand der Kaplan-Meier-Funktion für alle (rot) und die randomisierte Auswahl der Kronen (blau) über die Beobachtungszeit (x-Achse). Der Verlauf der Schätzer ist von den 95% Konfidenzintervallen begleitet (gestrichelte Linie). Die zum jeweiligen Zeitpunkt noch unter Risiko befindlichen Kronen, sind auf der oberen Achse aufgetragen (getrennt nach alle/ zufällige Kronen). Die mittlere Komplikationsrate ist der Mittelwert aus beiden Schätzungen. (Abbildung übersetzt aus [56])

Für die Lage in den Kiefern (Front- vs. Seitenzahnbereich) konnte für die Rate jeglicher Komplikationen kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden (Log Rank $p=0,326$). Allerdings liegt die Komplikationsrate für Seitenzähne nach 24 Monaten bei 4,3% (CI=0,02-0,09; 117 Seitenzahnkronen unter Risiko) mehr als doppelt so hoch wie die der Frontzähne bei 1,8% (CI=0,01-0,05; 119 Frontzahnkronen unter Risiko). (s. Abbildung 13)

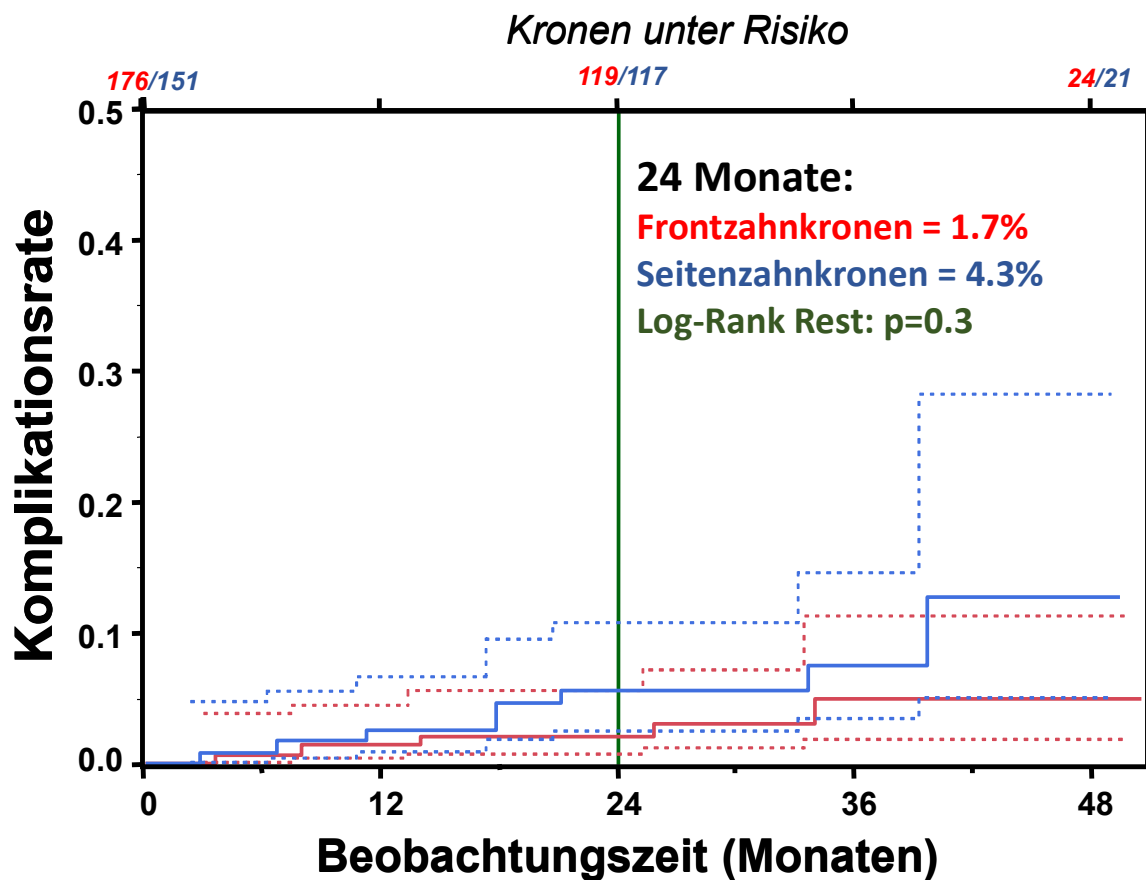


Abbildung 13 Schätzung der Komplikationsrate anhand der Kaplan-Meier-Funktion für alle Front- (rot) und alle Seitenzahnkronen (blau) über die Beobachtungszeit (x-Achse). Der Verlauf der Schätzer ist von den 95% Konfidenzintervallen begleitet (gestrichelte Linie). Die zum jeweiligen Zeitpunkt noch unter Risiko befindlichen Kronen sind auf der oberen Achse aufgetragen (getrennt Front-/ Seitenzahnkronen). Die mittlere Komplikationsrate ist der Mittelwert aus beiden Schätzungen. (Abbildung übersetzt aus [56])

Eine Untersuchung hinsichtlich des Einflussfaktors „Wurzelkanal-Füllung“ (WKB) ergab einen statistisch signifikanten Unterschied zum Zeitpunkt von 24 Monaten (Log-Rank Test: ChiSquare 8,3; $p=0,004$). Dabei waren 19 von 35 Kronen mit Wurzelfüllung auf 24 Monate unter Risiko. Die Komplikationsrate beträgt zu diesem Zeitpunkt 11,7% (CI=0,04-0,27). Für „nicht-wurzelkanalbehandelte“ Pfeilerzähne beträgt die Komplikationsrate auf 24 Monate 2% (CI=0,01-0,05) bei 217 Kronen unter Risiko. (s. Abbildung 14)

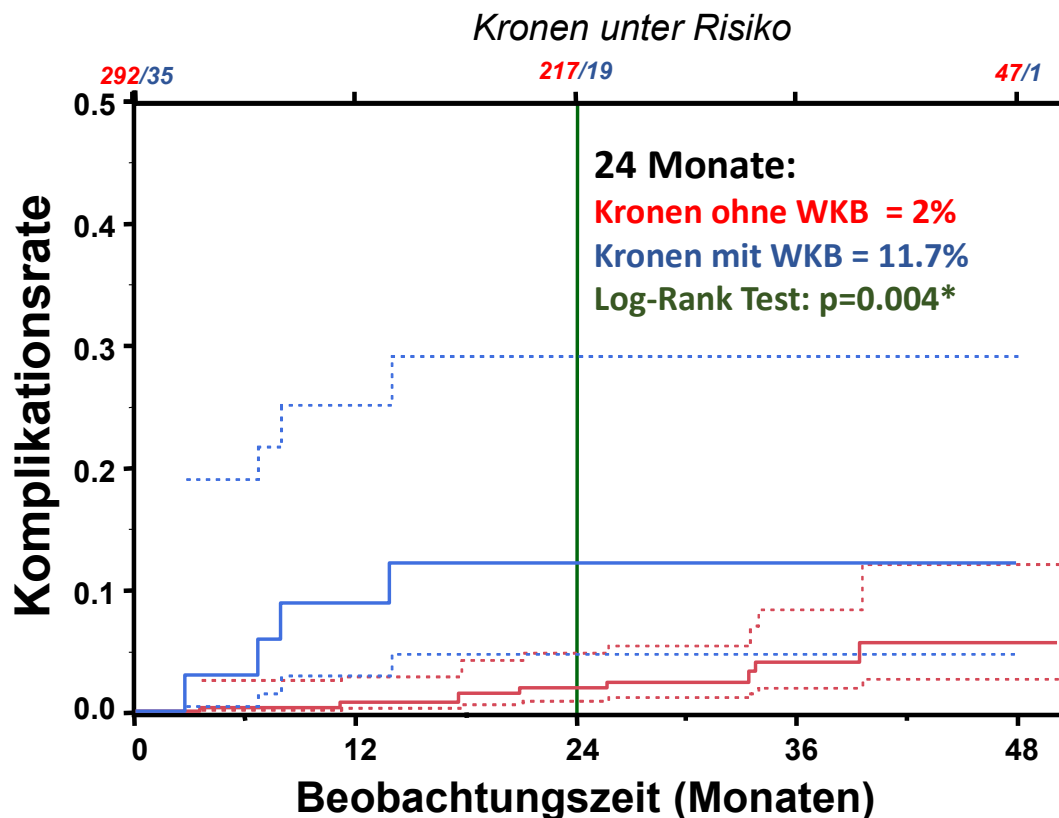


Abbildung 14 Schätzung der Komplikationsrate anhand der Kaplan-Meier Funktion für alle Kronen **OHNE** Wurzelkanalbehandlung (ohne WKB, rot) und alle mit einer Wurzelkanalbehandlung des Zahnes (mit WKB, blau) über die Beobachtungszeit (x-Achse). Der Verlauf der Schätzer ist von den 95% Konfidenzintervallen begleitet (gestrichelte Linie). Die zum jeweiligen Zeitpunkt noch unter Risiko befindlichen Kronen, sind auf der oberen Achse aufgetragen (getrennt Front-/ Seitenzahnkronen). Wenn sich die Konfidenzintervalle nicht überlappen, ist von einem statistisch signifikanten Unterschied der beiden Schätzungen auszugehen. Die Anwendung des Log-Rank-Tests ergab ein $p \leq 0.05$. (Abbildung übersetzt aus [56])

Insgesamt konnte die Überlebenswahrscheinlichkeit in Punkto „Versagen, SAE“ auf 2 Jahre mit einem Mittelwert von 98,2 % geschätzt werden (s. Abbildung 15). Das 95% Konfidenzintervall aller Kronen beträgt 96,1-99,5%; das der zufälligen Auswahl 85,5 – 99,6%.

Dieser Unterschied kennzeichnet daher auch das Überleben der Kronen in der Kaplan-Meier-Analyse unter dem Kriterium „in-situ“ (s. Abbildung 16, Seite 51).

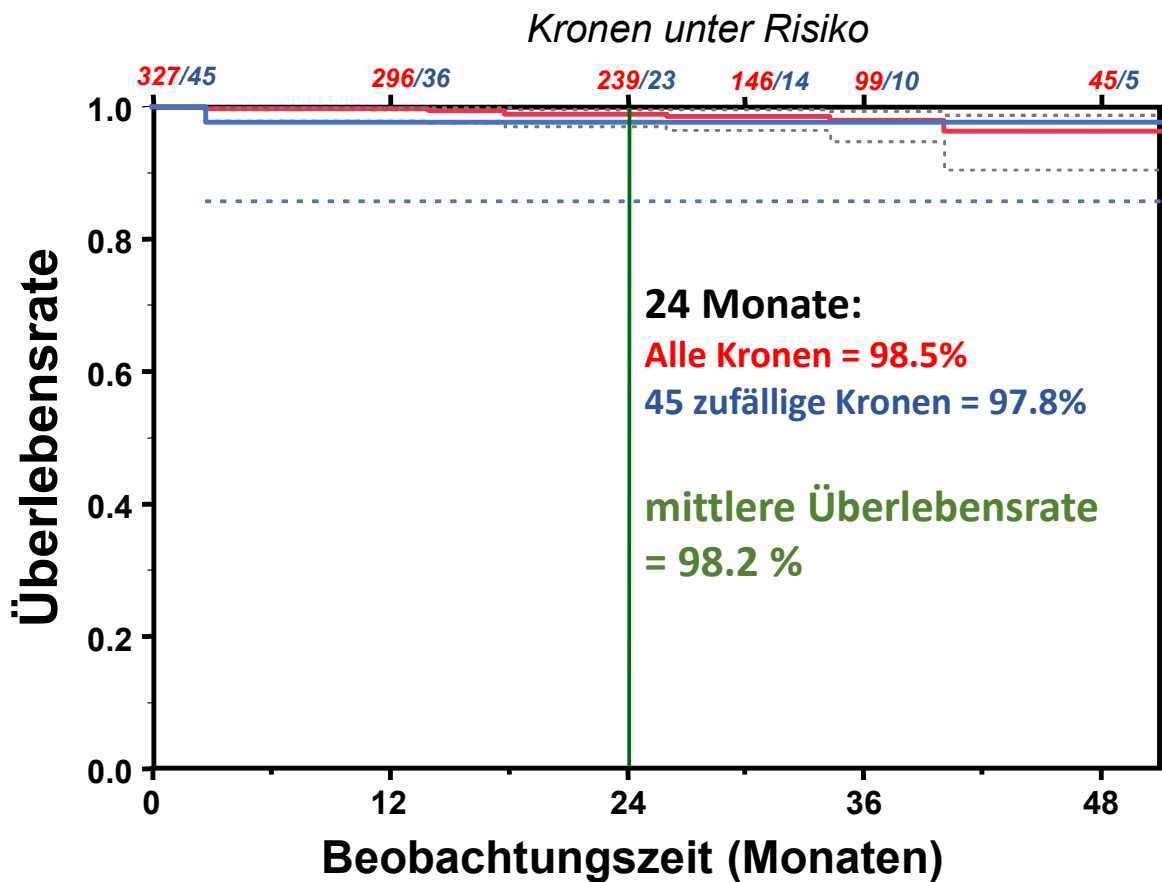


Abbildung 15 Schätzung der Überlebensrate anhand der Kaplan-Meier-Funktion für alle Kronen (rot) und die randomisierte Auswahl von 45 Kronen (blau) über die Beobachtungszeit (x-Achse). Der Verlauf der Schätzer ist von den 95% Konfidenzintervallen begleitet (gestrichelte Linie). Die zum jeweiligen Zeitpunkt noch unter Risiko befindlichen Kronen sind auf der oberen Achse aufgetragen (getrennt alle Kronen/ zufällige Auswahl). (Abbildung übersetzt aus [56])

Unter dem Kriterium „in situ“ nach 24 Monaten wurde für die vitalen Pfeilerzähne das Überleben 100% und für Pfeilerzähne mit Wurzelkanalbehandlung von 96,6% (CI=1-0,79; 19 unter Risiko) errechnet. Dabei ist der Unterschied via Log-rank-Test statistisch nicht signifikant (p=0,052). Ereigniszeitanalysen zu Komplikationen und Versagen

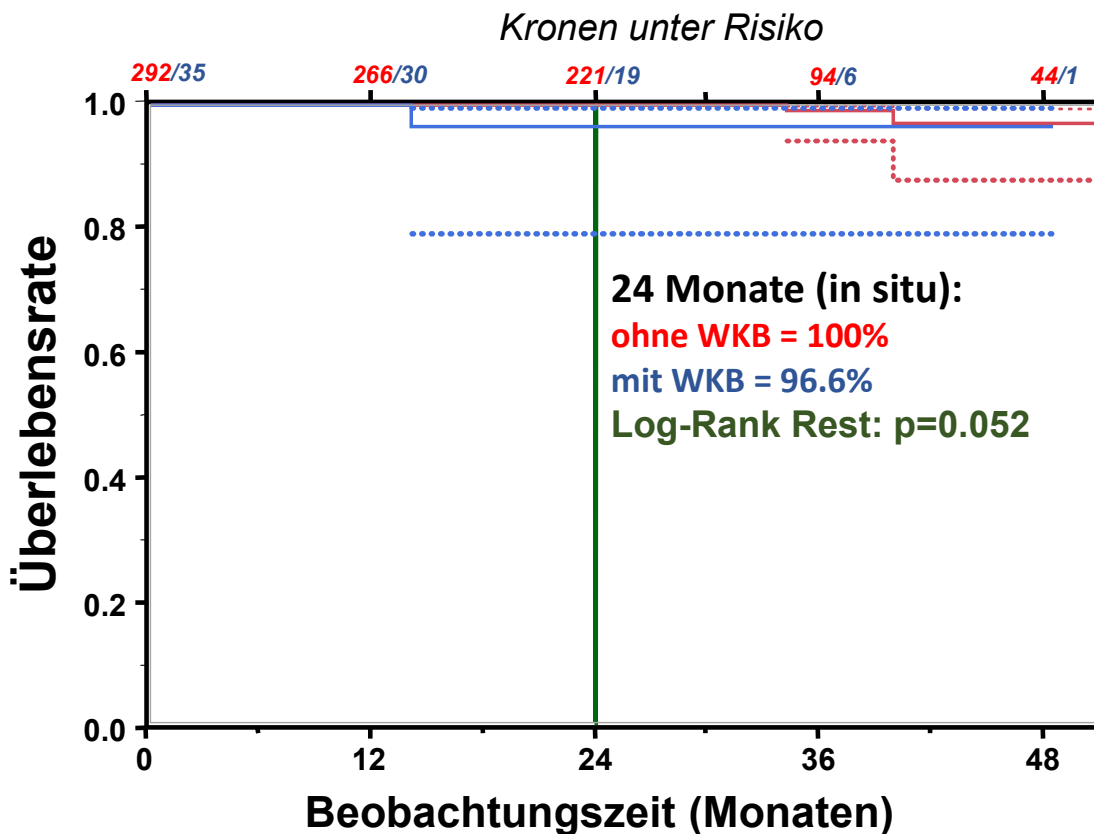


Abbildung 16 Schätzung der Überlebensrate für das Kriterium „in situ“ anhand der Kaplan-Meier Funktion aller Kronen ohne WKB (rot) und der 35 Kronen mit WKB (blau) über die Beobachtungszeit (x-Achse). Der Verlauf der Schätzer ist von den 95% Konfidenzintervallen begleitet (gestrichelte Linie). Die zum jeweiligen Zeitpunkt noch unter Risiko befindlichen Kronen sind auf der oberen Achse aufgetragen (getrennt ohne WKB/ mit WKB).

3.4 Qualitätsbewertung der Kronen in den Nachuntersuchungen

Bei den CDA-Ratings ((siehe Kapitel 2.3.1, Seite 24) erhielten 703 von 751 Einzelbewertungen von Kronen die Wertung „Romeo“ (93,6%); 35 Einzelbewertungen wurden mit „Sierra“ (4,6%) eingestuft, sieben bekamen die Wertung „Tango“ (0,93%) und sechs die Bewertung „Victor“ (0,8%) (s. Abbildung 17). Die dabei ursächlichen Bewertungen der Kriterien zur Qualitätsbewertung sind in Tabelle 5 aufgeführt.

In der Summe verteilen sich die CDA-ratings zum jeweils letzten Beobachtungszeitpunkt wie folgt: Romeo (n=294, 89,9%); Sierra (n=23, 7%); Tango (n=3, 0.9%), Victor (n=7, 2%). Von den 7 Misserfolgen wurden 4 Kronen entfernt (nicht mehr „in situ“) und drei durch Intervention in den Zustand „Tango“ versetzt.

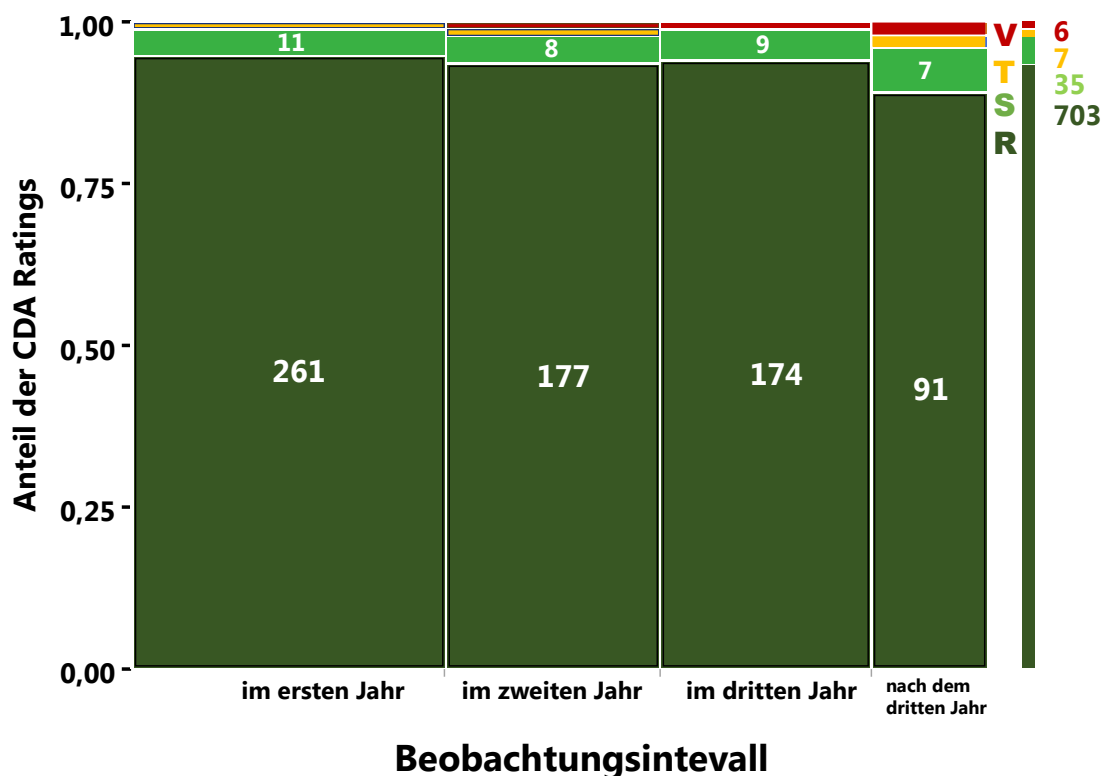


Abbildung 17 Verteilung der CDA Ratings über die Beobachtungsintervalle. Neben der relativen Häufigkeit (y-Achse) gibt die Fläche der Mosaik den Anteil an allen (N=751) Untersuchungen an. Die Absoluten Häufigkeiten sind in den Mosaiken aufgeführt sowie links als Summe über die gesamte Beobachtungszeit.

Ergebnisse

Tabelle 5 Überblick zu den relativen Häufigkeiten der CDA-Ratings der im Jahresverlauf untersuchten Kronen. Die Anzahl im Intervall entfernter Kronen (Kriterium „in-situ“) findet sich in Spalte 2. Die Prozentual beobachteten Kronen (in Bezug auf die Grundgesamtheit von 327 Kronen) findet sich in der dritten Spalte. Die anschließenden Spalten zeigen die CDA-Bewertungen der Kriterien Randschluss, Randverfärbung, Karies am Rand sowie Farbunterschied (s. Kapitel 2.3.7 Seite 31) – Daten, die klinisch nicht erhoben werden konnten sind jeweils unter „N“ subsumiert. Übersetzt aus [56].

Nachunter- suchungs- intervall	Kronen entfernt (n)	Kronen beobachtet (in %)	Randschluss / Randschluss					Randverfärbung				Karies am Rand			Farbunterschied	
			(%)					(%)					(%)			(%)
			A	B	C	D	N	A	B	C	N	A	D	N	A	B
erstes Jahr	0	84	98.9	0.7	0	0.0	0.4	82.9	2.2	0	14.9	97.5	0.0	2.5	99.6	0.4
zweites Jahr	1	58	96.8	2.1	0	1.1	0.0	89.4	3.7	0	6.9	96.3	0.5	3.2	100	0
drittes Jahr	1	57	97.8	1.6	0	0.6	0.0	88.6	3.8	0	7.6	98.4	0.5	1.1	99.5	0.5
nach dem dritten Jahr	2	32	92.2	5.9	0	0.0	2.0	93.1	2.9	0	3.9	97.1	0.0	2.9	100	0

4 Diskussion

4.1.1 Untersuchte Patienten und ausgewertete Restaurationen

Patientenklientel / Kohorte

Um die Leistungsfähigkeit von Einzelzahnkronen auf Basis der Lithium-Disilikatkeramik „emax-press“ zu bewerten, wurden 58 Patienten mit 375 solchen Restaurationen in der Dokumentation des Nachsorgeregisters „Vollkeramik“ identifiziert.

Bei 45 Patienten lagen bis zum 31.12.2012 Daten von Einzelzahnkronen vor, die bis zum 27.02.2011 adhäsiv (Multilink automix oder Variolink System, Fa. Ivoclar Vivadent) in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik des Universitätsklinikum Tübingen von geschulten Zahnärzten eingesetzt wurden.

Damit lag die höchste Mindestbeobachtungsdauer bei 22 Monaten (last patient in, last patient observed).

Dadurch, dass 13 Patienten entweder die Nachsorge nicht in Anspruch nahmen (n=7) oder aus Gründen der Vergleichbarkeit von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten (n=6), basieren die Ergebnisse auf 327 Einzelzahnkronen aus Lithium-Disilikat. Diese 48 Kronen zeigen eine vergleichbare, statistisch nicht signifikante Abweichung in ihrer Verteilung auf die Kiefer und Patienten. Dieser Aspekt ist wichtig zu untersuchen, da durch den „drop-out“ rechnerisch jeder vierte Patient mit einer LDS-Krone in der Auswertung „verloren gegangen“ ist.

Wie in Tabelle 3 auf Seite 38 gezeigt, war jedoch nur eine der 38 Kronen bei 6 Patienten von einem „chip-off“ betroffen. Die Prävalenz von Komplikationen bei 38 Monaten mittlerer Beobachtungszeit liegt in der ausgeschlossenen Kohorte mit 2,8% also unter der Prävalenz in der ausgewerteten Kohorte (4,6% bei einer mittleren Beobachtungszeit von 28 Monaten). Daher kann davon ausgegangen werden, dass dadurch kein positiver/ negativer Selektionsbasis aufgetreten ist.

Das Geschlecht der mit 327 Kronen versorgten Patienten lag im Verhältnis von 1:2 (14m, 31w). Median und Mittelwert der Altersverteilung von Männern und Frauen unterschieden sich nicht wesentlich (Männer: Median=39,9; MW=42,8; SD=4,2 | Frauen: Median=41,5; MW=43,1; SD=2,8). Allerdings zeigt die Altersverteilung der Gesamtkohorte zwei Maxima (s. Abbildung 5 auf Seite 39) um das Alter von 35 Jahren und um das Alter von 60 Jahren. Auch diese Ausprägung zeigen beide Geschlechter.

Obgleich die Anzahl der Patienten keine repräsentative Aussage zulässt, kann man daraus eine kulminierende Inanspruchnahme um diese Altersgruppe vermuten. Eine Überprüfung ist mangels Datenlage nicht möglich, denn die Deutsche Mundgesundheitsstudie V hat Kronen nicht als Zahnersatz erfasst [62]. Daher können zum Vergleich nur Studien mit Versorgungsmuster „Einzelzahnkrone“, vorzugsweise aus Deutschland, herangezogen werden (s. Tabelle 6).

Tabelle 6 Vergleichbare klinische Studien mit Einzelzahnkronen auf Basis von LDS.
 Aufgeführt sind die Geschlechts- und Altersverteilungen (mittlere Spalte) wie auch die eingesetzten Materialien (Bef. = Befestigungsmaterial) die Lage im Kiefer und die verwendete Fertigungstechnik als prozentuale Verteilung (rechte Spalte)

Fundstelle Autoren, Jahr, Land	Geschlecht und Altersverteilung	eingesetzte Restaurationsmaterialien
Esquivel-Upshaw et.al., 2013, USA [32]	32 Patienten, Verteilung und Alter unbekannt	25 Kronen Aufteilung unbekannt Bef.: 100% Variolink II MW Beobacht. = 36 Monate Fertigung: gepresst (50%); gepresst verblendet (50%)
Fasbinder et.al. 2010, USA [38]	43 Patienten, Verteilung und Alter unbekannt	62 Kronen; 100% Seitenzähne Bef.: 37% Multilink, 63% Selbstadhäsiver Zement Fertigung: CAD/CAM
Reich & Schierz 2013, Deutschland [105]	13m, 21w; 1:1,6 MW=46,5 Jahre, SD=13,1 26 – 74 Jahre	34 Kronen: 100% Seitenzähne Bef.: 100% Multilink sprint MW Beobacht. = 51 Monate Fertigung: CAD/CAM
Cortellini & Canale 2012, Italien [21]	32m; 44w; 1:1,4 MW=36 Jahre, 20 – 61 Jahre	235 Kronen: 58% Front-, 42% Seitenzähne Bef.: Variolink, Multilink MW Beobacht. = 51 Monate Fertigung: 10% CAD/CAM 90% gepresst
Simeone 2015, Canada, [119]	33m, 73w; 1:2,3 MW= 52 Jahre, SD=15	275 Kronen; 40%Front- ,60% Seitenzähne Befestigung: 30% Multilink, 35% RelyX/SpeedCem, 35% Variolink MW Beobacht: 56 Monate Fertigung: gepresst
Gehrt 2013, [44]	15m, 26f; 1:1,7 MW=34 Jahre, SD=10	104 Kronen; 79% Front- 21% Seitenzähne Befestigung: 30% GIZ; 70% Variolink II MW Beobacht.: 79,5 Monate Fertigung: gepresst

Die Auflistung in der Tabelle 6 zeigt, dass eine Stichprobe von Studien mit vergleichbarer Indikation ähnliche Alters- und Geschlechtsverteilungen ergibt. Allerdings bleibt zu kritisieren, dass in der Literatur keine konkreten Verteilungen von Alter und Geschlecht, neben den in der Tabelle aufgeführten Maßzahlen, zu finden sind. Zusammenfassend kann eine Vergleichbarkeit des in der vorliegenden Untersuchung behandelten/ untersuchten Patientenguts angenommen und vorausgesetzt werden.

Restorationen, Material und Befestigung

Betrachtet man die Verteilung der Restorationen auf die Kiefer, so finden sich nur drei vergleichbare Untersuchungen mit Lithium-Disilikatkeramik Einzelzahnkronen [21, 122, 126]. Andere Studien fokussieren sich auf LDS-Einzelzahnkronen im Seitenzahnbereich [91]. Da sich allerdings im Vergleich von Frontzahn- und Seitenzahnkronen keine Häufung von Komplikationen zeigte (s. Abbildung 7, S. 41 sowie Abbildung 13, S. 48) kann unter Annahme eines ähnlichen Risikos für beide topographischen Lagen im Kiefer auch Literatur, welche den Seitenzahnbereich behandelt, herangezogen werden.

Weiter bleibt zu bemerken, dass die Ergebnisse aus klinischen Studien nicht vorzugsweise, das in der vorliegenden Arbeit behandelte System „emax-press“ untersuchen, sondern das Vorgängermaterial „Empress 2“ derselben Firma [122, 126] oder aus Rohlingen der CAD/CAM Variante „emax-CAD“ [38, 105].

Diese Hervorhebung ist von daher wichtig, da die beiden alternativen Materialien zwar auch Lithium-Disilikat bestehen, jedoch von den mechanischen Eigenschaften des „emax-press“ abweichen. So besitzt im „emax-press“ ein wesentlich höheres Weibull Modul als „Empress 2“ [51]. Auch zwischen „emax-CAD“ und „emax-press“ bestehen nach Auskunft des Herstellers Festigkeitsunterschiede, wobei „emax-press“ als ca. 11 % widerstandsfähiger befunden wird, denn seine Biegefestigkeit liegt 40 MPa höher als die CAD-Variante (360 vs. 400 MPa) [57].

Der Aspekt des Restaurationsmaterials und dessen Festigkeit wird in der Vergleichbarkeit nochmals erschwert, da auch die Befestigung einen Einfluss auf die

endgültig erreichte Festigkeit/Widerstandsfähigkeit der einzelnen Restauration im Munde hat [41, 73, 93].

Dahingehend fällt auf, dass die in der Übersichtsarbeit von Pieger et.al. aufgeführten Studien als Befestigungsmaterialien entweder von selbstadhäsiven Kompositzement oder kunststoffmodifizierten Glasionomierzement berichten. Dies ist ein erstaunliches Ergebnis, da generell die Anwendung von Kompositen zur Befestigung vollkeramischer Restauration empfohlen ist [18, 78], und daher auch im Behandlungsstandard der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik LDS-Restaurationen adhäsiv mit Befestigungskomposit eingesetzt werden.

Ungeachtet dessen können, Kronen aus Lithium-Disilikat, wie in Kapitel 1.2.4 und Abbildung 1 auf Seite 14 gezeigt auch konventionell eingesetzt werden [19, 45, 78, 85]. Die in Tabelle 6 (Seite 56) aufgeführten Arbeiten verbleiben daher zum Vergleich mit den vorliegenden Daten, adhäsiv befestigter Restaurationen. Darüber hinaus können noch die 30 „emax-press“ Kronen, welche mit Panavia F (Kuraray Comp. Japan) befestigt wurden, aus den Daten von Etman et.al. berücksichtigt werden [35].

Durch all diese Einflussfaktoren, welche einen einfachen Vergleich von vorliegenden Daten erschweren, ist es umso wichtiger, die beobachteten Ereignisse qualitativ einzuordnen [2].

4.1.2 Klinische Einordnung der beobachteten Ereignisse zur Literatur

In der vorliegenden Studie waren 14 Restaurationen von 15 Ereignissen betroffen, die deren Integrität als Einzelzahnkrone beeinträchtigen.

Sechs dieser Restaurationen wurden vier Patienten eingegliedert, die von demselben Zahnarzt behandelt wurden. Insgesamt behandelte der betreffende Zahnarzt fünf Patienten mit 26 Restaurationen. Diese Beobachtung führt zu dem Schluss, dass der Einfluss des Behandlers eine wesentliche Fehlergröße für die Leistungsfähigkeit ausmacht. Der als „operator bias“ in der Literatur bekannte Effekt [43] lässt auf eine Techniksensitivität des Behandlungspfadens mit adhäsiv befestigten LDS-Einzelzahnkronen schließen.

Um dieser Annahme nachzugehen, werden die Beobachtungen unerwünschter Ereignisse gruppiert bewertet.

Retentionsverluste

Es wurden zwei der drei Retentionsverluste in einem Patienten festgestellt, welcher 21 Kronen in einer Sitzung eingesetzt bekam. Der andere Retentionsverlust fand sich ebenfalls bei einem Patienten, der alle sechs oberen Frontzähne mit Kronen versorgt bekam. Die Anforderungen des adhäsiven Einsetzens mehrerer Vollkeramikronen stellt höchste Ansprüche an den Zahnarzt und sein Team[49, 70]. Fehlerhafte Abläufe bei der Konditionierung von Restaurationen und/oder der Zahnhartsubstanz führen dann kurzfristig zum Versagen der Befestigung und somit zum Retentionsverlust [42].

Ein Versagen des adhäsiven Verbundes muss nicht ad hoc mit einem Retentionsverlust einhergehen, da auch nur ein partieller Verlust/ Fehlen des Verbundes in Folge von Fehlanwendungen des Adhäsivsystems denkbar ist [24].

Allerdings liegt die Prävalenz des Retentionsverlusts mit 3 von 327 unter 1%, was vergleichbar mit Daten anderer adhäsiv befestigter Vollkeramikronen ist [85, 114].

Bei Simeone et al. lagen bei 56 Monaten durchschnittlicher Beobachtungszeit 5.5% Retentionsverluste vor, die sich erst nach dem fünften Jahr „in service“ häuften (11 von 15 zwischen 5tem und 8tem Jahr) [119]. Darüber hinaus wurde berichtet, dass 11 der Verluste bei 11 von 98 (11,2%) mit Variolink befestigten Kronen und nur ein Verlust bei einer von 80 (1,25%) mit Multilink befestigten Kronen auftrat. Das entspricht einem ähnlichen Verhältnis wie in der vorliegenden Arbeit: Variolink (1 von 20 = 5%), Multilink (2 von 307 = 0,6%).

Bei Gehrt et.al. wurde in 104 Kronen über 8 Jahre hinweg – unabhängig von der Art des Einsetzens (GIZ oder adhäsiv mit Variolink II) - kein einziger Retentionsverlust beobachtet [44]. Allerdings lag die durchschnittliche Anzahl der Kronen je Patient nur bei 2,5 statt 7,3 – also im Regelfall bei überschaubareren klinischen Situationen beim Einsetzen. Die Autoren wiesen auch darauf hin, dass diese Tatsache dem Studiendesign, nämlich der individuellen Einschätzung der klinischen Situation für die Anwendung des jeweiligen Befestigungsprotokolls, geschuldet sei.

Damit liegt der Retentionsverlust bei adhäsiv-befestigten LDS-Kronen in der Prävalenz wesentlich unter den 2 % bei konventionell befestigten Restaurationen [129].

Gleichzeitig widerspricht diese Schlussfolgerung der Feststellung von Lekesiz, monolithische Kronen seien anfälliger für Retentionsverluste [75].

Sekundärkaries

Die an einem oberen linken Eckzahn palatinal aufgetretene Sekundärkaries betraf eine Patientin, welche im gesamten Oberkiefer mit Lithium-Disilikat Kronen versorgt wurde. An der Stelle der Sekundärkaries wurde bereits bei der Baseline Kontrolle ein sondierbarer Rand festgestellt, was auf einen Einsatzfehler bei einer komplexen Versorgung schließen lässt. Sondierbare Ränder sind Prädilektionsstellen für Biofilm und damit begünstigen sie, bei unzureichender regelmäßiger Biofilm-Entfernung, ein früheres Versagen des Zahnersatzes bzw. der Restauration [129].

Chip-offs

Durch das monolithische Design der Kronen ist zu erwarten, dass weniger häufig Abplatzungen oder kleine Keramikfrakturen an den Restaurationen auftreten als bei silikatkeramisch-verblendeten Restaurationen [133].

Allerdings lag die Prävalenz von „chip-off“ im Seitenzahnbereich bei drei von 151 Seitenzahnkronen (2 %). Simeone et al berichten eine Prävalenz von 1,8%, Fabbri et.al. berichten eine Prävalenz von 1,3 % und Cortellini & Canale eine Prävalenz von 1% [21, 37, 119].

Die Chip-offs von Gehrt et.al. werden nur an Frontzähnen berichtet und lagen in der Prävalenz bei vergleichbaren 2,1% [44].

Diese Abplatzungen, welche häufig bei silikatkeramisch verblendete Zirkonoxidrestaurationen auftreten [52, 101], sind entsprechend den Beobachtungen in in-vitro-Studien bei den LDS-Kronen, wie in der vorliegenden Arbeit, sehr gering [52]. Dies ist klinisch interessant, da insbesondere okklussale Einschleifmaßnahmen zu einer Reduktion der Biegefestigkeit von Keramiken führen [34, 46], und gemeinsam mit Attrition und Schädigungen (etwa durch Rauigkeiten des

Antagonisten) als Risikofaktor für Chip-offs gelten [89]. Allerdings konnten monolithische Verblendmaterialien im intraindividuellen Vergleich zirkonoxidbasierter Brücken deutlich geringere Abplatzungsvolumina aufweisen [48], was auf die hier vorliegenden monolithischen Einzelzahnkronen übertragbar wäre.

Fraktur von Kronen

Insgesamt drei Frakturen einer monolithischen Krone konnten beobachtet werden. Das Auftreten lag zwischen 34 bis 51 Monaten und betraf zwei Frontzähne sowie einen unteren Prämolaren.

Die Fraktur des oberen Incisivi (Zahn 11) folgte eine Woche nach Wiederbefestigung selbiger Krone nach einem Retentionsverlust. Unter Umständen kann der Zwischenfall des Retentionsverlusts durch unsachgemäße Handhabung der Krone oder eine Krafteinleitung nach Retentionsverlust zu einem nicht sichtbaren Schaden im keramischen Gefüge geführt haben, der beim weiteren klinischen Einsatz zum unmittelbaren Versagen der Krone führte.

Bei Patientin #67 vermutete der Behandler einen Produktionsfehler im zahntechnischen Labor. Bereits vor Einsetzen dieser Krone 23 frakturierte eine zuvor angefertigte Krone bereits vor dem Einsetzen (während der Einprobe). Es ist aber auch davon auszugehen, dass hier Bereiche grenzwertigen Substanzabstrags vorlagen, der eine Fraktur durch eine Schichtstärke unter 1mm begünstigte [115]. Um diese Ursache könnte es sich auch bei der Fraktur der Prämolarenkrone bei Patientin #34 handeln. Denn es ist dieselbe Patientin, welche von dem oben aufgeführten Behandler mit der hohen Komplikationsprävalenz versorgt wurde.

Insgesamt weicht die Prävalenz von Restaurationsfrakturen in der vorliegenden Arbeit mit 0,9% nicht wesentlich von den 0,6% Gerüstfrakturen ab, von denen im Review von Pieger et.al. berichtet werden [91].

Erstaunlich ist jedoch der Bericht von Fabbri et al., bei denen 5% der Frakturen, vornehmlich im Frontzahnbereich auftraten [37]. Vergleichbar ist hier nur, dass auch 2 von 3 Frakturen ebenfalls im Frontzahnbereich auftraten.

Bei Gehrt et.al. trat die Fraktur einer adhäsiv-befestigten Frontzahnkrone (1,2%) und eine Fraktur bei einer zementierten Seitenzahnkrone auf, was ebenfalls die vorliegenden Ergebnisse widerspiegelt.

Zusammenfassend ergibt die qualitative Analyse der beobachteten Ereignisse, dass der Behandler eine zentrale Rolle spielt für die klinische Leistungsfähigkeit der eingesetzten Restaurationen; dieses beginnt bei der Patientenauswahl und Indikationsstellung für adhäsiv befestigte monolithische Lithium-Disilikat-Kronen. Die Beurteilung von Indikation und Fallauswahl ist dabei eng mit der klinischen Anwendung bzw. Kompetenz zur Anwendung des Materials - insbesondere der adhäsiven Befestigung – verbunden; diese Einschätzung teilen auch andere Autoren bei der Diskussion ihrer Ergebnisse [44]. Im Weiteren werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit eben solchen klinischen Berichten verglichen.

4.1.3 Vergleich der festgestellten Leistungsfähigkeit zu anderen Untersuchungen mit monolithischen Lithium-Disilikat-Kronen

Die vorliegende Untersuchung bestätigt die Feststellungen aus anderen Untersuchung mit Lithium-Disilikat basierten Einzelzahnkronen [91]. Wie in Tabelle 7 auf Seite 63 gezeigt, liegen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der Komplikationsrate im Mittelfeld.

Problematisch ist dabei, dass trotz vorliegender Standards [2, 55] Komplikations- bzw. Erfolgsraten mit unterschiedlichen Variablen bestimmt bzw. berechnet werden. Somit ist eine genauere Analyse der Risikofaktoren nur qualitativ in den vergleichbaren Untersuchungen notwendig.

Diese qualitative Aufklärung der Ereignisse ergab - insbesondere für die Feststellung des Einflusses „non-vitaler“ bzw. „wurzelkanalbehandelter“ Zähne auf die Komplikations- und Überlebensrate - folgendes Ergebnis:

Tabelle 7 Überlebens- und Komplikationsraten von LDS-Kronen in der Literatur

Zitat	Spezifikation	Überlebens- rate nach (Monate)	Komplikati onsrate (Monate)	Material
Fabbri 2014 [37]	Monolithisch Seitenzahn	96.2% (33)	3,8% (33)	Empress 2
	Verblendet Frontzahn	98.6% (37)	2,4% (37)	
Valenti & Valenti, 2009 [126]	Frontzahn	94,4%(120)	nicht berichtet	Empress 2
	Seitenzahn	95,8% (120)		
Toman & Taksavul 2015 [123]	Frontzahn	87,4% (105)	nicht berichtet	Empress 2
	Seitenzahn	85% (105)		
Simeone 2015 [119]	Frontzahn	100%	nicht berichtet	emax Press
	Seitenzahn	97,1%		
Gehrt 2013, [44]	Frontzahn	93,8% (96)	4,7% (60); 17,1% (96)	emax Press
	Seitenzahn	100% (96)		
Reich & Schierz 2013 [105]	Seitenzahn	96,3 % (48)	17% (48)	emax CAD
Huettig & Gehrke 2016 [56]	Front- und Seitenzahn	96.8% (48)	7,1% (48)	emax press

Risikofaktor: wurzelkanalbehandelte Zähne

Vornehmlich Keramikfrakturen, aber auch Wurzelfrakturen werden generell gehäuft bei Zähnen mit Wurzelkanalbehandlungen/ Wurzelkanalfüllungen festgestellt [1, 9, 128]. Auch in den klinischen Studien, die Lithium-Disilikat Einzelkronen untersuchten, finden sich Hinweise auf diesen Einfluss. So waren alle fünf technischen Komplikationen bei Simeone et.al. bei wurzelkanalbehandelten Zähnen zu finden [119]. Ebenso fanden Toman und Toksavul eine starke Abhängigkeit der Überlebensrate vom endodontischen Ausgangszustand der Pfeilerzähne. So lag nach 105 Monaten die Überlebensrate von WKB-Zähnen bei 53%, die der vitalen Zähne bei 91,3% [123].

Gründe für ein „geringeres Überleben“ sind daher wohl maßgeblich in der biologischen Grundvoraussetzung des versorgten Zahnes zu finden. Hier reichen die Einflussfaktoren von der verwendeten Spüllösung, Wurzelkanaleinlage sowie Wurzelkanalaufbereitung [116, 117] bis hin zur ausgedehnteren Präparation und zum Zerstörungs- bzw. Füllungsgrad des Zahnes vor der Versorgung mit der Krone [102, 103].

Qualitätsbewertung und Stellenwert der adhäsiven Befestigung

Randschluss der Kronen

Der Randschluss von LDS-Kronen ist „prima vista“ abhängig von der verwendeten Fertigungstechnologie. Dabei weisen gepresste Restaurationen eine minimal bessere Passung auf als CAD/CAM-gefertigte [81, 83].

Allerdings müssen den in-vitro Daten auch die klinischen Outcomes gegenüber gestellt werden. Hier interessiert vor allem der Anteil von Alfa (also einwandfreien) und Bravo (akzeptablen) Ratings des Kriteriums „Randspalt sondierbar“.

Bei Simeone et.al. waren auf 11 Jahre 79% der Restaurationsränder einwandfrei (Rating: Alfa) und 18.8% akzeptabel (Rating Bravo). Allerdings waren auch 2 von 100 Rändern insuffizient (0,7% Charlie, 1.1% Delta) [119].

Esquivel-Upshaw et.al. berichten nach 3 Jahren 100% Alfa-Ratings der Ränder bei den LDS Kronen und dem gegenüber nur 91% bei Metallkeramikronen die genauso eingesetzt wurden. Bei den metallkeramischen Kronen waren 18% von einer Sekundärkaries betroffen - bei LDS-Kronen keine einzige [32]. Von 100% Alfa-Ratings berichtet nach 2 Jahren auch Fasbinder et.al. [38].

Nach 2 Jahren wurden 93,8 der Ränder bei Reich & Schierz mit Alfa (A1 und A2) bewertet allerdings auch 3,1% als insuffizient (Delta). Nach 4 Jahren lag der Anteil der Alfa-Ratings noch bei 89,7% - sowie 6,9% waren als insuffizient ausgewiesen [105].

Diese Daten zeigen, dass LDS-Kronen der zweiten Generation (e.max press und CAD) im adhäsiven Setting kurz-, wie auch langfristig hervorragende Randpassungen aufweisen und die Qualität der Empress 2 Kronen übertreffen. Denn bei diesen wurden Anteile der Alfa-Ratings nach 2 Jahren mit nur 25% beziffert, gefolgt von 55% Bravo- und 20% Charlie-Ratings. Wobei in der betreffenden Studie hervorgehoben werden muss, dass bereits beim Einsetzen nur 70% Alfa, 20% Bravo und 10% Charlie gerated wurden [122].

Akzeptable und einwandfreie Ränder bei Empress 2 Kronen berichten Valenti & Valenti. Hier wurden nach 10 Jahren Beobachtungszeit 81% mit Alfa und 19% mit Bravo bewertet [126].

Randverfärbung

Bei 5% der in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen konnte keine Aussage über die Randverfärbung getroffen werden (s. Tabelle 5, Seite 53). Dies ist der Tatsache geschuldet, dass 5% der Restaurationsränder mit über 1 bis 2 mm subgingivaler Lage nicht beurteilbar waren. Allerdings zeigten nur 5% (Rating Bravo) der bewertbaren Kronen in maximaler Beobachtungszeit Verfärbungen am Klebspalt (s. auch Abbildung 2 auf Seite 25).

Dieses Kriterium wurde von anderen Autoren ausgeprägter beschrieben:

So berichtet Fassbinder et al. nach 2 Jahren 87% Alfa-Ratings (95,6% nach 6 Monaten; 87% nach einem Jahr) bei Kronen die mit Multilink eingesetzt wurden [38]. Interessanterweise zeigten die Kronen, welche mit einem selbstadhäsiven Zement eingesetzt wurden, in der genannten Studie nach 2 Jahren 97% der Ränder ohne Verfärbung (Rating Alfa).

Bei Valenti & Valenti waren nach 10 Jahren 88% Alfa und 12% Bravo [126]; bei Simeone et al. nach 11 Jahren 73,3% Alfa und 25,5% Bravo sowie 1,1% Charlie (Randverfärbung dringt in die Tiefe) bewertet [119]. Toman & Toksavul berichten bei Empress 2 Kronen die mit Variolink 2 eingesetzt wurden ebenfalls von 88% Alfa und 11% Bravo sowie 1% Charlie Bewertungen für die Randverfärbung nach 9 Jahren [123].

Farbliche Einpassung in die Zahnreihe

99% der hier untersuchten Kronen zeigten eine einwandfreie Farbeinpassung in die Zahnreihe. Diese Zahl muss in soweit relativiert werden, da 18 Patienten (also 40%) über sechs Restaurationen getragen haben. Im Falle der Gesamtrehabilitation ganzer Kiefer ist es nicht verwunderlich, dass dieselbe Zahnfarbe von Restauration und Nachbarzähnen erreicht werden konnte. Allerdings haben auch 60% der Patienten weniger Versorgungen – und auch hier war das Material – in Kombination mit der adhäsiven Befestigung in der Lage, eine einwandfreie Farbeinpassung zu erreichen. Dies bestätigen die Berichte von Fassbinder et al. sowie Reich & Schierz, welche 100% der Kronen nach 2 respektive 4 Jahren als farblich einwandfrei ausweisen [38, 105].

Bei Esquivel-Upshaw et al. werden nur die Alfa-1 Anteile berichtet; deren Anteil liegt für monolithische LDS Kronen bei 82% und keramisch verblendeten LDS Kronen bei 73%. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Alfa-2 Wertung das Bild entsprechend den anderen Berichten ergänzt (also deutlich über 13 bzw. 20% liegen). Dass „emax-press“ Kronen in adhäsiver Befestigung sich farblich besser einpassen, zeigen die Zahlen von Taskonak & Sertgoz. Hier lagen die Alfa Ratings bei 65% nach 2 Jahren (Bravo=35%) [122]. Diese Unterlegenheit bestätigen auch Valenti & Valenti mit 70% Alfa Ratings in der Farbeinpassung der 255 Kronen nach 10 Jahren [126]. Toman & Toksavul konnten nach 10 Jahren 91% Alfa und 9% Bravo bewerten [123].

4.1.4 Einordnung der Leistungsfähigkeit zu Behandlungsalternativen mit vollkeramischen Systemen auf Basis von Silikatkeramik und Zirkonoxid.

Insbesondere die Prävalenz von chip-off ist bei Lithium-Disilikat-Kronen signifikant geringer als bei silikatkeramisch verblendeten Zirkonoxid Kronen [52]. Über eine Beobachtungszeit von 5 Jahren werden für letztere eine 3,1% (2,1 bis 4,7%) Komplikationsrate angegeben [110]. In selbiger Auswertung liegt die Angabe für keramisches Chipping bei Leucit-verstärkter und LDS-Keramik bei 1,5% (0,9-2,4%) in 60 Monaten, also halb so hoch. Damit ordnet sich die 4-Jahres-Komplikationsrate des Chippings mit 1,6% (0,6-3,8%) in der vorliegenden Arbeit in diese Werte ein. Die Ermüdung von Verblendkeramiken im Vergleich zu monolithischen Lithiumdisilikaten ist auch in-vitro offensichtlich [52, 118]. Allerdings zeigen Ansätze monolithischer Zirkonoxide, die minimalst bukkal mit Feldspatkeramiken individualisierend verblendet werden, 0% Abplatzungen [86]. Umfassende Daten – vor allem zur Qualität und farblichen Brillanz – liegen hier jedoch noch nicht vor.

Hinsichtlich des Risikos der Fraktur einer Restauration liegen Zirkonoxid-basierte Restaurationen mit 0,4% auf 5 Jahre wesentlich niedriger als Feldspat/Silikatkeramische Restaurationen mit 6,7% (2,4-18%) und Leucit-/ LDS Keramiken mit 2,3% (1-5,5%) [110]. Auch hier liegt, aus den erhobenen Daten, die 4-Jahres-Rate für Frakturen bei 2,8% (0,6-12%), also im selben Bereich wie die Daten des Reviews. Das Versagen der Kronen bzw. des Zahnes war in den vorliegenden Fällen

zumeist nachvollziehbar und ordnete sich in die Berichte der Literatur ein. In diesem Zusammenhang bleibt es also hervorzuheben, dass die Versagensgründe häufig weitgehend unabhängig vom Restaurationsmaterial sind und sich deshalb vergleichbare Überlebenswahrscheinlichkeiten ergeben [30, 121, 131].

Allerdings benötigen silikatkeramisch verblendete Zirkonoxid-Kronen auch ein invasiveres Präparationsvorgehen als etwa adhäsiv befestigte, monolithische LDS-Kronen [4, 26, 68, 77]. Deshalb ist die Indikationsstellung mit Rücksicht auf den Erhalt von Zahnhartsubstanz ein immanenter Bestandteil der gesamten Therapie mit vollkeramischen Restaurationen. Hier liegt in Abwägung der o.a. Risiken die LDS im optimalen Mittelfeld zwischen Zirkonoxid-basiert und glaskeramisch-monolithisch [92]. Denn letztgenanntere erlauben es durch ihre mechanischen Grundeigenschaften auch in adhäsiver Befestigung nicht den Anforderungen an Einzelzahnkronen im Seitenzahnbereich mit guter Überlebenswahrscheinlichkeit nachzukommen [69].

Die Randpassung der Lithium-Disilikat-Kronen ordnet sich in die Qualität, die alle Vollkeramik-Systeme - unabhängig vom Material - erreichen, ein [20]. Maßgeblich dafür ist die Reife der Fertigungsprozesse – sei es für CAD/CAM oder auch die Press-Technologie [10, 36, 104]. Dies schließt die Anwendung des digitalen Workflows ein, hier werden ebenso gute Ergebnisse im Randschluss erzielt [8, 15].

Die klinische Qualität des Randes wird neben der fertigungstechnischen Passung aber auch durch die langfristige Versiegelung des Spalts zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz bestimmt [28]. „Komposit-basierte“ Befestigungsmaterialien und die Adhäsivtechnik zeigen hier insbesondere bei monolithischen Materialien Vorteile [5, 41, 96]. Allerdings konnte bisher nicht gezeigt werden, dass die Verwendung semi-adhäsiver Befestigungsmaterialien einen unvorteilhaften Einfluss auf die Randpassung von Kronen oder deren Retentionsverlust hat [38, 44, 69, 119]

Es bleibt abzuwarten, wie sich die 2014 eingeführte Zirkonoxid-verstärkte Litumsilikatkeramik (ZLS) in diesem Feld positionieren wird. In In-vitro Versuchen zeigt diese eine geringere Versagenswahrscheinlichkeit als LDS [31], die allerdings auch abhängig von der Art der Befestigung ist [95]. Damit bleibt wieder der adhäsiven Befestigung der Vorzug zu geben.

5 Zusammenfassung

Auf Grund der steigenden Nachfrage nach zahnfarbenem und minimalinvasivem Zahnersatz war das Hauptziel der vorliegenden Arbeit, die Leistungsfähigkeit von adhäsiv befestigten Einzelzahnkronen, auf Basis gepresster Lithium-Disilikat Keramik, (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent) im klinischen Einsatz darzulegen. Die erhobenen Daten und deren Auswertung, sowie Diskussion im Kontext mit der vorliegenden Literatur zu LDS-Kronen der ersten und zweiten Generation, ermöglichte es die gestellten Forschungsfragen wie folgt zu beantworten:

Welche Komplikationen treten im kurzfristigen klinischen Verlauf auf?

Im kurzfristigen klinischen Verlauf - also binnen zwei Jahren - treten vornehmlich technische Komplikationen der Keramik und des Befestigungsmaterials auf. Biologische Komplikationen, wie etwa Sekundärkaries und endodontische Behandlung, finden sich an der Grenze zum mittelfristigen Verlauf. Nach ca. drei bis vier Jahren können auch, mit einer Häufigkeit von 1 aus 100 Frakturen der gesamten Krone beobachtet werden. Im kurzfristigen klinischen Verlauf über ein Jahr wurden 75% der Ereignisse an wurzelkanalbehandelten Zähnen beobachtet (drei aus vier).

Welche Komplikations- und Überlebensraten können daraus geschätzt werden?

Die Ereignisse, welche als Komplikation und Versagen klassifiziert wurden führen zur Schätzung einer Überlebensrate von 98,2 % nach 24 Monaten und lassen nach 48 Monaten eine Schätzung von 96,8 % zu. In diesen Zeiträumen treten bei ca. 5 % der Kronen (also jeder zwanzigsten Krone binnen zwei Jahren) bzw. ca. 7% der Kronen (also jeder vierzehnten Krone binnen vier Jahren) ein interventionsbedürftiges Ereignis (Komplikation) ein.

Gibt es Risikofaktoren, die Komplikationen oder Versagen begünstigen?

Als Risikofaktoren für das vollständige Versagen von einer LDS Kronenversorgung konnten anhand der vorliegenden Ergebnisse der biologische Ausgangszustand des Zahnes identifiziert werden. Hierbei sind Kronen auf Zähnen die bereits wurzelkanalbehandelt – also devital – sind, häufiger von Komplikationen und Versagen betroffen als vitale Zähne. Wurzelkanalbehandelte Zähne hatten ein fünfmal höheres Risiko von einer Komplikation betroffen zu sein als vitale Zähne.

Darüber hinaus konnte ein Einfluss des Behandlers abgeleitet werden. Hierbei spielt insbesondere bei umfangreicheren Versorgung (mehrere Kronen in einem Kiefer) eines Patienten die Techniksensitivität des Behandlungsablaufs eine wesentliche Rolle. Es kann aus den vorliegenden Daten geschlossen werden, dass Restaurationen von Behandlern/ Teams, welche unzureichend Erfahrung mit der Anwendung des Systems in überschaubaren Fällen gesammelt haben, häufiger von Komplikationen - vornehmlich Retentionsverlust und Fraktur - betroffen sind.

Obgleich okklusale Einschleifmaßnahmen als Risikofaktor für Chip-off gelten, sind die Raten in der vorliegenden Studie sehr gering und können ggf. auf das Standard-Politurregime nach Einschleifmaßnahmen zurückgeführt werden.

Welche Qualität erreichen Restaurationen aus Lithium-Disilikat im klinischen Einsatz?

Gepresste Lithium-Disilikat Kronen der zweiten Generation (emax-press) erreichen zum Zeitpunkt des Einsetzens in 99% einwandfreie Bewertungen des Randspalts und der Farbe. Das bedeutet, dass es nur in einem von 100 Fällen wahrscheinlich ist, durch die technischen Möglichkeiten den klinischen Gegebenheiten nicht vollumfänglich, sondern nur im Rahmen des akzeptablen, nachkommen zu können. Hinsichtlich der Verfärbung des adhäsiven Fügspalts zwischen Krone und Zahn war etwa einer von zehn Randspalten akzeptabel verfärbt – neun davon ohne Verfärbung. Damit liegt die qualitative Kompetenz dieses Materials über jener, welche mit der ersten Generation (Empress 2) erreicht werden konnte.

Wie verändert sich die Qualität im kurzfristigen klinischen Verlauf?

Die durch das adhäsive Einsetzen erreichte Qualität und Integrität von LDS-Kronen veränderte sich hinsichtlich der Randpassung in nur einem von 100 Fällen im Laufe von drei Jahren - sowie bei weiteren vier Fällen im Laufe des vierten bis sechsten Jahres. Hinsichtlich der Farbeinpassung konnten keine Abweichungen im Beobachtungszeitraum festgestellt werden. Ebenso blieben die Randverfärbungen - also Verfärbungen der Klebefuge zwischen Zahnhartsubstanz und Restaurationsmaterial - im Beobachtungszeitraum konstant.

Wo ordnet sich diese Versorgungsform im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Einzelzahnversorgung mit vollkeramischen Materialien ein?

Lithium-Disilikatkeramik-Kronen können als verlässliche Alternative zu keramisch verblendeten Kronen auf Basis von Zirkonoxid sowie zu Silikat-/ glaskeramischen Kronen eingestuft werden. Verglichen mit Zirkonoxid besteht trotz eines höheren Risikos der kompletten Restaurationsfraktur ein geringeres Risiko für Abplatzungen der Keramik, welche sukzessive zur Reduktion von Qualität und Integrität und damit ebenso, langfristig, zum Versagen einer Restauration führen kann. Gleichzeitig kann bei der Versorgung mit monolithischen Lithium-Disilikatkeramik-Kronen bei reduziertem Substanzabtrag ein einwandfreies ästhetisches Ergebnis erzielt werden. Verglichen mit glaskeramisch/ silikatkeramischen Kronen, positioniert sich das Material Lithium-Disilikatkeramik besser, da bei diesem eine geringere Frakturwahrscheinlichkeit der Restauration vorliegt. Hervorzuheben ist, dass die obligate Anwendung eines adhäsiven Befestigungssystems bei Glaskeramik für Lithium-Disilikat-Kronen nicht gilt und verglichen mit selbstadhäsiven Befestigungszementen auch keine Überlegenheit des adhäsiven Vorgehens festgestellt wurde. Daher decken Lithium-Disilikatkeramik-Kronen ein breiteres Einsatzspektrum für die Versorgung mit „Einzelzahnkronen“ ab. Dieses führt zusammenfassend zu dem Schluss, dass Kronen aus Lithium-Disilikatkeramik ein optimales Risiko-Nutzen-Verhältnis zwischen glaskeramischen und silikatkeramisch verblendeten Zirkonoxid-Kronen erreichen.

Damit kann die Hypothese der vorliegenden Arbeit angenommen werden. Denn, LDS Kronen können anhand der vorliegenden Daten als klinisch gleichwertige Versorgungsform angesehen werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Adolphi, G., M. Zehnder, L.M. Bachmann, and T.N. Gohring (2007) *Direct resin composite restorations in vital versus root-filled posterior teeth: a controlled comparative long-term follow-up*. Oper Dent 32 (5): p. 437-42. DOI: 10.2341/06-147
2. Anusavice, K.J. (2012) *Standardizing failure, success, and survival decisions in clinical studies of ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses*. Dent Mater 28 (1): p. 102-11. DOI: 10.1016/j.dental.2011.09.012
3. Arnetzl, G. and G.V. Arnetzl (2010) *Klinische Aspekte der Vollkeramik: Keramikdesign*, in *Internet*, V. Zahnfabrik, Editor. Vita Zahnfabrik: Bad Säckingen, Germany.
4. Ates, S.M. and Z. Yesil Duymus (2016) *Influence of Tooth Preparation Design on Fitting Accuracy of CAD-CAM Based Restorations*. J Esthet Restor Dent. DOI: 10.1111/jerd.12208
5. Baader, K., K.A. Hiller, W. Buchalla, G. Schmalz, and M. Federlin (2016) *Self-adhesive Luting of Partial Ceramic Crowns: Selective Enamel Etching Leads to Higher Survival after 6.5 Years In Vivo*. J Adhes Dent 18 (1): p. 69-79. DOI: 10.3290/j.jad.a35549
6. Bagis, B., Y.H. Bagis, and U. Hasanreisoglu (2011) *Bonding effectiveness of a self-adhesive resin-based luting cement to dentin after provisional cement contamination*. J Adhes Dent 13 (6): p. 543-50. DOI: 10.3290/j.jad.a19811
7. Banks, R.G. (1990) *Conservative posterior ceramic restorations: a literature review*. J Prosthet Dent 63 (6): p. 619-26.
8. Batson, E.R., L.F. Cooper, I. Duqum, and G. Mendonca (2014) *Clinical outcomes of three different crown systems with CAD/CAM technology*. J Prosthet Dent 112 (4): p. 770-7. DOI: 10.1016/j.prosdent.2014.05.002
9. Beier, U.S., I. Kapferer, and H. Dumfahrt (2012) *Clinical long-term evaluation and failure characteristics of 1,335 all-ceramic restorations*. Int J Prosthodont 25 (1): p. 70-8.
10. Beschmidt, S.M. and J.R. Strub (1999) *Evaluation of the marginal accuracy of different all-ceramic crown systems after simulation in the artificial mouth*. J Oral Rehabil 26 (7): p. 582-93.
11. Beuer, F., H. Aggstaller, D. Edelhoff, W. Gernet, and J. Sorensen (2009) *Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers*. Dent Mater 25 (1): p. 94-102. DOI: 10.1016/j.dental.2008.04.018
12. Bindl, A., H. Luthy, and W.H. Mormann (2006) *Strength and fracture pattern of monolithic CAD/CAM-generated posterior crowns*. Dent Mater 22 (1): p. 29-36. DOI: 10.1016/j.dental.2005.02.007
13. Bindl, A. and W.H. Mormann (2005) *Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations*. J Oral Rehabil 32 (6): p. 441-7. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2005.01446.x
14. Bindl, A., B. Richter, and W.H. Mormann (2005) *Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macroretention geometry*. The International journal of prosthodontics 18 (3): p. 219-24.
15. Boitelle, P., B. Mawussi, L. Tapie, and O. Fromentin (2014) *A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations*. J Oral Rehabil 41 (11): p. 853-74. DOI: 10.1111/joor.12205

16. Broderson, S.P. (1994) *Complete-crown and partial-coverage tooth preparation designs for bonded cast ceramic restorations*. Quintessence Int 25 (8): p. 535-9.
17. Bühler-Zemp, P., T. Völkel, and K. Fischer (2011) *IPS e.max press - Wissenschaftliche Dokumentation*, in *Internet/Homepage*, I. Vivadent, Editor. Ivoclar Vivadent: Schaan.
18. Burke, F.J., G.J. Fleming, D. Nathanson, and P.M. Marquis (2002) *Are adhesive technologies needed to support ceramics? An assessment of the current evidence*. J Adhes Dent 4 (1): p. 7-22.
19. Christensen, G.J. (2014) *Use of luting or bonding with lithium disilicate and zirconia crowns*. J Am Dent Assoc 145 (4): p. 383-6. DOI: 10.14219/jada.2013.44
20. Contrepois, M., A. Soenen, M. Bartala, and O. Laviolle (2013) *Marginal adaptation of ceramic crowns: a systematic review*. J Prosthet Dent 110 (6): p. 447-454 e10. DOI: 10.1016/j.prosdent.2013.08.003
21. Cortellini, D. and A. Canale (2012) *Bonding lithium disilicate ceramic to feather-edge tooth preparations: a minimally invasive treatment concept*. J Adhes Dent 14 (1): p. 7-10. DOI: 10.3290/j.jad.a22708
22. Cvar, J.F. and G. Ryge (2005) *Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971*. Clin Oral Investig 9 (4): p. 215-32. DOI: 10.1007/s00784-005-0018-z
23. de la Macorra, J.C. and G. Pradies (2002) *Conventional and adhesive luting cements*. Clin Oral Investig 6 (4): p. 198-204. DOI: 10.1007/s00784-002-0184-1
24. De Munck, J., K. Van Landuyt, M. Peumans, A. Poitevin, P. Lambrechts, M. Braem, and B. Van Meerbeek (2005) *A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results*. J Dent Res 84 (2): p. 118-32.
25. Diaz-Arnold, A.M., M.A. Vargas, and D.R. Haselton (1999) *Current status of luting agents for fixed prosthodontics*. J Prosthet Dent 81 (2): p. 135-41.
26. Edelhoff, D. and O. Brix (2011) *All-ceramic restorations in different indications: a case series*. J Am Dent Assoc 142 Suppl 2: p. 14S-9S.
27. Edelhoff, D., T. Horstkemper, E.J. Richter, H. Spiekermann, and M. Yildirim (2000) *Adhäsiv und konventionell befestigte Empress 1-Kronen*. Deutsche zahnärztliche Zeitschrift 55 (5): p. 326. DOI: 43019 de-38m
28. Edelhoff, D. and M. Ozcan (2007) *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 18 Suppl 3: p. 193-204. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2007.01442.x
29. Eichner, K. and H.F. Kappert (2005) *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 1. Grundlagen und Verarbeitung*. Thieme.
30. El-Mowafy, O. and J.F. Brochu (2002) *Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations--a literature review*. J Can Dent Assoc 68 (4): p. 233-7.
31. Elsaka, S.E. and A.M. Elnaghy (2016) *Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic*. Dent Mater 32 (7): p. 908-14. DOI: 10.1016/j.dental.2016.03.013
32. Esquivel-Upshaw, J., W. Rose, E. Oliveira, M. Yang, A.E. Clark, and K. Anusavice (2013) *Randomized, controlled clinical trial of bilayer ceramic and metal-ceramic crown performance*. J Prosthodont 22 (3): p. 166-73. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2012.00913.x

33. Esquivel-Upshaw, J.F. and K.J. Anusavice (2000) *Ceramic design concepts based on stress distribution analysis*. *Compend Contin Educ Dent* 21 (8): p. 649-52, 654; quiz 656.
34. Eßer, A.C. (2014) *Einfluss der Bearbeitung keramischer Verblendmaterialien für Zirkoniumdioxidkonstruktionen auf die biaxiale Festigkeit*, in *Medizinische Fakultät*. Eberhard Karls Universität Tübingen: Tuebingen. p. 177.
35. Etman, M.K. and M.J. Woolford (2010) *Three-year clinical evaluation of two ceramic crown systems: a preliminary study*. *J Prosthet Dent* 103 (2): p. 80-90. DOI: 10.1016/S0022-3913(10)60010-8
36. Euan, R., O. Figueras-Alvarez, J. Cabratosa-Termes, M. Brufau-de Barbera, and S. Gomes-Azevedo (2012) *Comparison of the marginal adaptation of zirconium dioxide crowns in preparations with two different finish lines*. *J Prosthodont* 21 (4): p. 291-5. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2011.00831.x
37. Fabbri, G., F. Zarone, G. Dellificorelli, G. Cannistraro, M. De Lorenzi, A. Mosca, and R. Sorrentino (2014) *Clinical evaluation of 860 anterior and posterior lithium disilicate restorations: retrospective study with a mean follow-up of 3 years and a maximum observational period of 6 years*. *Int J Periodontics Restorative Dent* 34 (2): p. 165-77. DOI: 10.11607/prd.1769
38. Fasbinder, D.J., J.B. Dennison, D. Heys, and G. Neiva (2010) *A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns: a two-year report*. *J Am Dent Assoc* 141 Suppl 2: p. 10S-4S.
39. Fradeani, M. and G. Barducci (1996) *Versatility of IPS Empress restorations. Part I: Crowns*. *J Esthet Dent* 8 (3): p. 127-35.
40. Fradeani, M. and M. Redemagni (2002) *An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: a retrospective study*. *Quintessence Int* 33 (7): p. 503-10.
41. Frankenberger, R., V.E. Hartmann, M. Krech, N. Kramer, S. Reich, A. Braun, and M. Roggendorf (2015) *Adhesive luting of new CAD/CAM materials*. *Int J Comput Dent* 18 (1): p. 9-20.
42. Frankenberger, R., N. Kramer, and A. Petschelt (2000) *Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation*. *Oper Dent* 25 (4): p. 324-30.
43. Frankenberger, R., C. Reinelt, A. Petschelt, and N. Kramer (2009) *Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays*. *Dent Mater* 25 (8): p. 960-8. DOI: 10.1016/j.dental.2009.02.002
44. Gehrt, M., S. Wolfart, N. Rafai, S. Reich, and D. Edelhoff (2013) *Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service*. *Clin Oral Investig* 17 (1): p. 275-84. DOI: 10.1007/s00784-012-0700-x
45. Gerth, H.U., T. Dammaschke, H. Zuchner, and E. Schafer (2006) *Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study*. *Dent Mater* 22 (10): p. 934-41. DOI: 10.1016/j.dental.2005.10.004
46. Goldammer, C. (2012) *Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Biegefestigkeit von verblendetem Zirkoniumdioxid*, in *Medizinische Fakultät*. Eberhard Karls Universität Tübingen: Tuebingen. p. 137.
47. Goldman, M., P. Laosonthorn, and R.R. White (1992) *Microleakage--full crowns and the dental pulp*. *J Endod* 18 (10): p. 473-5. DOI: 10.1016/s0099-2399(06)81345-2
48. Grohmann, P., A. Bindl, C. Hammerle, A. Mehl, and I. Sailer (2015) *Three-unit posterior zirconia-ceramic fixed dental prostheses (FDPs) veneered with*

- layered and milled (CAD-on) veneering ceramics: 1-year follow-up of a randomized controlled clinical trial.* Quintessence Int 46 (10): p. 871-80. DOI: 10.3290/j.qi.a34701
49. Groten, M. (2007) *Complete esthetic and functional rehabilitation with adhesively luted all-ceramic restorations--case report over 4.5 years.* Quintessence Int 38 (9): p. 723-31.
 50. Groten, M. and D. Axmann (2004) *Time needed for data collection in clinical studies on fixed prosthodontics.* Int J Prosthodont 17 (6): p. 651-6.
 51. Guess, P.C., S. Schultheis, E.A. Bonfante, P.G. Coelho, J.L. Ferencz, and N.R. Silva (2011) *All-ceramic systems: laboratory and clinical performance.* Dent Clin North Am 55 (2): p. 333-52, ix. DOI: 10.1016/j.cden.2011.01.005
 52. Guess, P.C., R.A. Zavanelli, N.R. Silva, E.A. Bonfante, P.G. Coelho, and V.P. Thompson (2010) *Monolithic CAD/CAM lithium disilicate versus veneered Y-TZP crowns: comparison of failure modes and reliability after fatigue.* Int J Prosthodont 23 (5): p. 434-42.
 53. Heintze, S.D. and V. Rousson (2010) *Survival of zirconia- and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review.* Int J Prosthodont 23 (6): p. 493-502.
 54. Hellwig, E., J. Klimek, and T. Attin (2006) *Einführung in die Zahnerhaltung.* Urban&Fischer.
 55. Hickel, R., J.F. Roulet, S. Bayne, S.D. Heintze, I.A. Mjor, M. Peters, V. Rousson, R. Randall, G. Schmalz, M. Tyas, and G. Vanherle (2007) *Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials.* Clin Oral Investig 11 (1): p. 5-33. DOI: 10.1007/s00784-006-0095-7
 56. Huettig, F. and U.P. Gehrke (2016) *Early complications and performance of 327 heat-pressed lithium disilicate crowns up to five years.* J Adv Prosthodont 8 (3): p. 194-200. DOI: 10.4047/jap.2016.8.3.194
 57. IvoclarVivadent (2014) *IPS e.max: Scientific Report 2001-2013*, in Internet, I. Vivadent, Editor. Ivoclar Vivadent: www.ivoclarvivadent.us.
 58. IvoclarVivadent (2015) *IPS e.max press: Rohlingsübersicht*, in Internet, I. Vivadent, Editor. Ivoclar Vivadent: www.ivoclarvivadent.com.
 59. IvoclarVivadent (2015) *IPS e.max: ein System für alle Indikationen - Informationen für den Zahnarzt*, in Internet, I. Vivadent, Editor. Ivoclar Vivadent: www.ivoclarvivadent.com.
 60. IvoclarVivadent (2016) *Adhäsive 1-mm-Krone*, in Internet, IvoclarVivadent, Editor. Ivoclar Vivadent: Schaan.
 61. Jacobs, M.S. and A.S. Windeler (1991) *An investigation of dental luting cement solubility as a function of the marginal gap.* J Prosthet Dent 65 (3): p. 436-42.
 62. Jordan, A.R. and W. Micheelis (2016) *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)* 1ed. Materialienreihe des Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag. 617.
 63. Kaplan, E.L. and P. Meier (1958) *Nonparametric Estimation from Incomplete Observations.* Journal of the American Statistical Association 53 (282): p. 457-481.
 64. Kappert, H., Krah, M. (2001) *Dentalkeramiken und zahntechnische Verfahren zur Herstellung von keramischem Zahnersatz in der Übersicht.* Quintessenz Zahntech 27 (6): p. 666-687.

65. Kern, M., R.J. Kohal, A. Mehl, P. Pospiech, R. Frankenberger, B. Reiss, K. Wiedhahn, and K.H. Kunzelmann (2012) *Vollkeramik auf einen Blick*. Vol. 5. Ettlingen: AG Keramik. 95.
66. Kern, M., Kohal, R.J., Mehl, A., Pospiech, P., Frankenberger, R., Reiss, B., Wiedhahn, K., Kunzelmann, K.H. (2012) *Vollkeramik auf einen Blick*. Vol. 5. Auflage. Ettlingen: Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V.
67. Kerschbaum, T., M. Seth, and U. Teeuwen (1997) *Verweildauer von kunststoff- und metallkeramisch verblendeten Kronen und Brücken*. Dtsch Zahnärztl Z 52 (6): p. 404-406.
68. Kim, J.H., B.H. Cho, J.H. Lee, S.J. Kwon, Y.A. Yi, Y. Shin, B.D. Roh, and D.G. Seo (2015) *Influence of preparation design on fit and ceramic thickness of CEREC 3 partial ceramic crowns after cementation*. Acta Odontol Scand 73 (2): p. 107-113. DOI: 10.3109/00016357.2014.956145
69. Klink, A. and F. Huettig (2013) *Complication and survival of Mark II restorations: 4-year clinical follow-up*. Int J Prosthodont 26 (3): p. 272-6. DOI: 10.11607/ijp.3287
70. Klink, A. and F. Huettig (2016) *The challenge of erosion and minimally invasive rehabilitation of dentitions with BEWE grade 4*. Quintessence Int 47 (5): p. 365-72. DOI: 10.3290/j.qi.a35262
71. Körber, K. and K. Ludwig (1993) *Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie*. Thieme.
72. Kramer, N., U. Lohbauer, and R. Frankenberger (2000) *Adhesive luting of indirect restorations*. Am J Dent 13 (Spec No): p. 60D-76D.
73. Kumbuloglu, O., L.V. Lassila, A. User, S. Toksavul, and P.K. Vallittu (2005) *Shear bond strength of composite resin cements to lithium disilicate ceramics*. J Oral Rehabil 32 (2): p. 128-33. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2004.01400.x
74. Lang, N.P., R.A. Kiel, and K. Anderhalden (1983) *Clinical and microbiological effects of subgingival restorations with overhanging or clinically perfect margins*. J Clin Periodontol 10 (6): p. 563-78.
75. Lekesiz, H. (2014) *Reliability estimation for single-unit ceramic crown restorations*. J Dent Res 93 (9): p. 923-8. DOI: 10.1177/0022034514544215
76. Luthardt, R., M. Kern, P. Pospiech, L. Probst, S. Reich, J. Tinschert, and S. Wolfart (2008) *Klinische Indikation von Kronen und Teilkronen (der geschädigte Zahn): Wissenschaftliche Mitteilung der DGZPW, D.G.f.P.Z.u.B.e.V. (DGPro), Editor. DGZMK: Internet.*
77. Magne, P. and W.H. Douglas (1999) *Additive contour of porcelain veneers: a key element in enamel preservation, adhesion, and esthetics for aging dentition*. J Adhes Dent 1 (1): p. 81-92.
78. Manso, A.P., N.R. Silva, E.A. Bonfante, T.A. Pegoraro, R.A. Dias, and R.M. Carvalho (2011) *Cements and adhesives for all-ceramic restorations*. Dent Clin North Am 55 (2): p. 311-32, ix. DOI: 10.1016/j.cden.2011.01.011
79. Marquardt, P. and J.R. Strub (2006) *Survival rates of IPS empress 2 all-ceramic crowns and fixed partial dentures: results of a 5-year prospective clinical study*. Quintessence Int 37 (4): p. 253-9.
80. Marxkors, R., Meiners, H. (2001) *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffe*. Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag.
81. Melo Freire, C.A., G.A. Borges, D. Caldas, R.S. Santos, S.A. Ignacio, and R.F. Mazur (2016) *Marginal Adaptation and Quality of Interfaces in Lithium Disilicate Crowns - Influence of Manufacturing and Cementation Techniques*. Oper Dent. DOI: 10.2341/15-288-L

82. Meyer, G., S. Ahsbahs, M. Kern, M.O. Ahlers, J. Beck, K. Bartsch, K. Christelsohn, B. Reiss, and F. Beuer (2014) *S3-Leitlinie: Vollkeramische Kronen und Brücken*, in <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-012.html>, M.-u.K. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Editor. AWMF: Internet.
83. Miwa, A., H. Kori, Y. Tsukiyama, R. Kuwatsuru, Y. Matsushita, and K. Koyano (2016) *Fit of e.max Crowns Fabricated Using Conventional and CAD/CAM Technology: A Comparative Study*. Int J Prosthodont 29 (6): p. 602-607. DOI: 10.11607/ijp.4865
84. Miyazaki, T., T. Nakamura, H. Matsumura, S. Ban, and T. Kobayashi (2013) *Current status of zirconia restoration*. J Prosthodont Res 57 (4): p. 236-61. DOI: 10.1016/j.jpor.2013.09.001
85. Mormann, W., D. Wolf, A. Ender, A. Bindl, T. Gohring, and T. Attin (2009) *Effect of two self-adhesive cements on marginal adaptation and strength of esthetic ceramic CAD/CAM molar crowns*. J Prosthodont 18 (5): p. 403-10. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2009.00461.x
86. Moscovitch, M. (2015) *Consecutive case series of monolithic and minimally veneered zirconia restorations on teeth and implants: up to 68 months*. Int J Periodontics Restorative Dent 35 (3): p. 315-23. DOI: 10.11607/prd.2270
87. Napankangas, R., M.A. Salonen, and A.M. Raustia (1997) *A 10-year follow-up study of fixed metal ceramic prosthodontics*. J Oral Rehabil 24 (10): p. 713-7.
88. Pameijer, C.H. (2012) *A review of luting agents*. Int J Dent 2012: p. 752861. DOI: 10.1155/2012/752861
89. Pang, Z., A. Chughtai, I. Sailer, and Y. Zhang (2015) *A fractographic study of clinically retrieved zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses*. Dent Mater 31 (10): p. 1198-206. DOI: 10.1016/j.dental.2015.07.003
90. Pera, P., S. Gilodi, F. Bassi, and S. Carossa (1994) *In vitro marginal adaptation of alumina porcelain ceramic crowns*. J Prosthet Dent 72 (6): p. 585-90.
91. Pieger, S., A. Salman, and A.S. Bidra (2014) *Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review*. J Prosthet Dent 112 (1): p. 22-30. DOI: 10.1016/j.prosdent.2014.01.005
92. Pjetursson, B.E., I. Sailer, M. Zwahlen, and C.H. Hammerle (2007) *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 18 Suppl 3: p. 73-85. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2007.01467.x
93. Pospiech, P. (2002) *All-ceramic crowns: bonding or cementing?* Clin Oral Investig 6 (4): p. 189-97. DOI: 10.1007/s00784-002-0183-2
94. Pospiech, P. (2004) *Keramik - Vollkeramik Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin*. 3M Espe.
95. Preis, V., M. Behr, S. Hahnel, and M. Rosentritt (2015) *Influence of cementation on in vitro performance, marginal adaptation and fracture resistance of CAD/CAM-fabricated ZLS molar crowns*. Dent Mater 31 (11): p. 1363-9. DOI: 10.1016/j.dental.2015.08.154
96. Preuss, A., M. Rosentritt, R. Frankenberger, F. Beuer, and M. Naumann (2008) *Influence of type of luting cement used with all-ceramic crowns on load capability of post-restored endodontically treated maxillary central incisors*. Clin Oral Investig 12 (2): p. 151-6. DOI: 10.1007/s00784-007-0164-6

97. Pröbster, L. (1993) *Survival rate of In-Ceram restorations*. Int J Prosthodont 6 (3): p. 259-63.
98. Probster, L. and M. Groten (2005) *VITA In-Ceram: Leitfaden für vollkeramische Restaurationen in der zahnärztlichen Praxis*, in Internet, V. Zahnfabrik, Editor. Vita Zahnfabrik: Bad Säckingen.
99. Radovic, I., F. Monticelli, C. Goracci, Z.R. Vulicevic, and M. Ferrari (2008) *Self-adhesive resin cements: a literature review*. J Adhes Dent 10 (4): p. 251-8.
100. Raigrodski, A.J., G.J. Chiche, N. Potiket, J.L. Hochstedler, S.E. Mohamed, S. Billiot, and D.E. Mercante (2006) *The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: A prospective clinical pilot study*. The Journal of prosthetic dentistry 96 (4): p. 237-244.
101. Raigrodski, A.J., M.B. Hillstead, G.K. Meng, and K.H. Chung (2012) *Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: a systematic review*. J Prosthet Dent 107 (3): p. 170-7. DOI: 10.1016/S0022-3913(12)60051-1
102. Randow, K. and P.O. Glantz (1986) *On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study*. Acta Odontol Scand 44 (5): p. 271-7.
103. Reeh, E.S., H.H. Messer, and W.H. Douglas (1989) *Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures*. J Endod 15 (11): p. 512-6. DOI: 10.1016/S0099-2399(89)80191-8
104. Reich, S., S. Gozdowski, L. Trentzsch, R. Frankenberger, and U. Lohbauer (2008) *Marginal fit of heat-pressed vs. CAD/CAM processed all-ceramic onlays using a milling unit prototype*. Oper Dent 33 (6): p. 644-50. DOI: 10.2341/07-162
105. Reich, S. and O. Schierz (2013) *Chair-side generated posterior lithium disilicate crowns after 4 years*. Clin Oral Investig 17 (7): p. 1765-72. DOI: 10.1007/s00784-012-0868-0
106. Reitmeier, B., K. Hänsel, C. Kastner, and M.H. Walter (2007) *Prospektive Studie zur Bewährung metallkeramischer Kronen unter Praxisbedingungen: 8-Jahresergebnisse*. Deutsche Zahnärztl Z 62 (2): p. 104-109.
107. Rinke, S., A. Huls, and L. Jahn (1995) *Marginal accuracy and fracture strength of conventional and copy-milled all-ceramic crowns*. Int J Prosthodont 8 (4): p. 303-10.
108. Ryge, G. (1980) *Clinical criteria*. Int Dent J 30 (4): p. 347-58.
109. Sailer, I., A. Feher, F. Filser, L.J. Gauckler, H. Luthy, and C.H. Hammerle (2007) *Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures*. Int J Prosthodont 20 (4): p. 383-8.
110. Sailer, I., N.A. Makarov, D.S. Thoma, M. Zwahlen, and B.E. Pjetursson (2015) *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 31 (6): p. 603-23. DOI: 10.1016/j.dental.2015.02.011
111. Sailer, I., A.E. Oendra, B. Stawarczyk, and C.H. Hammerle (2012) *The effects of desensitizing resin, resin sealing, and provisional cement on the bond strength of dentin luted with self-adhesive and conventional resincements*. J Prosthet Dent 107 (4): p. 252-60. DOI: 10.1016/S0022-3913(12)60070-5
112. Sailer, I., B.E. Pjetursson, M. Zwahlen, and C.H. Hammerle (2007) *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 II: Fixed dental prostheses.* Clin Oral Implants Res 18 Suppl 3: p. 86-96. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2007.01468.x
113. Segal, B.S. (2001) *Retrospective assessment of 546 all-ceramic anterior and posterior crowns in a general practice.* J Prosthet Dent 85 (6): p. 544-50. DOI: 10.1067/mpr.2001.115180
 114. Selz, C.F., J.R. Strub, K. Vach, and P.C. Guess (2014) *Long-term performance of posterior InCeram Alumina crowns cemented with different luting agents: a prospective, randomized clinical split-mouth study over 5 years.* Clin Oral Investig 18 (6): p. 1695-703. DOI: 10.1007/s00784-013-1137-6
 115. Seydler, B., S. Rues, D. Muller, and M. Schmitter (2014) *In vitro fracture load of monolithic lithium disilicate ceramic molar crowns with different wall thicknesses.* Clin Oral Investig 18 (4): p. 1165-71. DOI: 10.1007/s00784-013-1062-8
 116. Shemesh, H., C.A. Bier, M.K. Wu, M. Tanomaru-Filho, and P.R. Wesselink (2009) *The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects.* Int Endod J 42 (3): p. 208-13. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2008.01502.x
 117. Shemesh, H., P.R. Wesselink, and M.K. Wu (2010) *Incidence of dentinal defects after root canal filling procedures.* Int Endod J 43 (11): p. 995-1000. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2010.01740.x
 118. Silva, N.R., V.P. Thompson, G.B. Valverde, P.G. Coelho, J.M. Powers, J.W. Farah, and J. Esquivel-Upshaw (2011) *Comparative reliability analyses of zirconium oxide and lithium disilicate restorations in vitro and in vivo.* J Am Dent Assoc 142 Suppl 2: p. 4S-9S.
 119. Simeone, P. and S. Gracis (2015) *Eleven-Year Retrospective Survival Study of 275 Veneered Lithium Disilicate Single Crowns.* Int J Periodontics Restorative Dent 35 (5): p. 685-94. DOI: 10.11607/prd.2150
 120. Sulaiman, F., J. Chai, L.M. Jameson, and W.T. Wozniak (1997) *A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress, and Procera crowns.* Int J Prosthodont 10 (5): p. 478-84.
 121. Takeichi, T., J. Katsoulis, and M.B. Blatz (2013) *Clinical outcome of single porcelain-fused-to-zirconium dioxide crowns: a systematic review.* J Prosthet Dent 110 (6): p. 455-61. DOI: 10.1016/j.prosdent.2013.09.015
 122. Taskonak, B. and A. Sertgoz (2006) *Two-year clinical evaluation of lithia-disilicate-based all-ceramic crowns and fixed partial dentures.* Dent Mater 22 (11): p. 1008-13. DOI: 10.1016/j.dental.2005.11.028
 123. Toman, M. and S. Toksavul (2015) *Clinical evaluation of 121 lithium disilicate all-ceramic crowns up to 9 years.* Quintessence Int 46 (3): p. 189-97. DOI: 10.3290/j.qi.a33267
 124. Valderhaug, J. and J.M. Birkeland (1976) *Periodontal conditions in patients 5 years following insertion of fixed prostheses. Pocket depth and loss of attachment.* J Oral Rehabil 3 (3): p. 237-43.
 125. Valderhaug, J. and L.A. Heloe (1977) *Oral hygiene in a group of supervised patients with fixed prostheses.* J Periodontol 48 (4): p. 221-4.
 126. Valenti, M. and A. Valenti (2009) *Retrospective survival analysis of 261 lithium disilicate crowns in a private general practice.* Quintessence Int 40 (7): p. 573-9.

127. van den Breemer, C.R., M.M. Gresnigt, and M.S. Cune (2015) *Cementation of Glass-Ceramic Posterior Restorations: A Systematic Review*. Biomed Res Int 2015: p. 148954. DOI: 10.1155/2015/148954
128. van Dijken, J.W. and L. Hasselrot (2010) *A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages*. Dent Mater 26 (9): p. 929-39. DOI: 10.1016/j.dental.2010.05.008
129. Walton, J.N., F.M. Gardner, and J.R. Agar (1986) *A survey of crown and fixed partial denture failures: length of service and reasons for replacement*. J Prosthet Dent 56 (4): p. 416-21.
130. Walton, T.R. (1999) *A 10-year longitudinal study of fixed prosthodontics: clinical characteristics and outcome of single-unit metal-ceramic crowns*. Int J Prosthodont 12 (6): p. 519-26.
131. Wang, X., D. Fan, M.V. Swain, and K. Zhao (2012) *A systematic review of all-ceramic crowns: clinical fracture rates in relation to restored tooth type*. Int J Prosthodont 25 (5): p. 441-50.
132. Weber, H. (1999) *Präparation und temporäre Versorgung*, in *Kronen- und Brückenprothetik*, B. Koeck and A. Behneke, Editors, Urban & Fischer. p. 93-134.
133. Zhang, Y., J.J. Lee, R. Srikanth, and B.R. Lawn (2013) *Edge chipping and flexural resistance of monolithic ceramics*. Dent Mater 29 (12): p. 1201-8. DOI: 10.1016/j.dental.2013.09.004
134. Zimmer, D., T. Gerds, and J.R. Strub (2004) *Überlebensraten von IPS-Empress®2-Vollkeramikkkronen und -brücken: Drei-Jahres-Ergebnisse*. Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin 114 (2): p. 115.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die vorliegende Arbeit wurde in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde betreut von Prof. Dr. Heiner Weber angefertigt. Bei der wissenschaftlichen Arbeit und Gliederung der Arbeit wurde ich von Oberarzt Dr. Fabian Hüttig angeleitet und bei Fragen/ Problemen unterstützt. Die Konzeption der Studie und statistischen Auswertung erfolgte durch mich, in Zusammenarbeit und mit Beratung von Oberarzt Dr. Fabian Hüttig.

Die Datenrecherche, Datenerhebung, Datenprüfung, sowie die komplette Dateneingabe in das Statistik-Programm JMP erfolgte durch mich unter Wahrung des vier-Augen-Prinzips unterstützt von Zahnarzt Michael Herm. Sämtliche damit erzeugten Abbildungen, Zeichnungen und Tabellen wurden von mir selber erstellt und modifiziert.

Ich versichere, das vorliegende Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Zur orthographischen und dialektischen Korrektur der Finalversion dieser Arbeit danke ich Marie-Theres Sudhoff, Yvonne Prudlo und Tosca Gehrke (geb. Niedenthal).

Die Ausgestaltung der englischsprachigen Publikation erfolgte in gemeinsamer Autorenschaft unter Verwendung meiner Ergebnisse mit Dr. Fabian Hüttig.

Literatur die nicht im Bestand der Universität Tübingen oder deren elektronischem Volltextzugriff bzw. frei zugänglich vorhanden war, wurde freundlicher Weise durch Frau Barbara Welder, Bibliothek der Zahnklinik, zu Kosten der forschenden Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik beschafft.

Tübingen, den 18.03.2017

8 Veröffentlichungen

1. Vorläufige Ergebnisse aus der vorliegenden Arbeit wurden **präsentiert**:

Ulf P. Gehrke, Andrea Klink, Fabian Hüttig: „*Klinische Ergebnisse von adhäsiv befestigten Lithium-Disilikat-Kronen über 2,5 Jahre*“

Kurzvortrag Session 1 auf der 63. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro), Aachen, 15. –17.05.2014

Abstract: https://www.dgpro.de/sites/default/files/uploads/dgpro14-abstracts_0.pdf

2. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden Open-Access **publiziert** im JCR gelisteten Journal of Advanced Prosthodontics (IF 2016 = 1,027) mit der Creative Commons Attribution Non-Commercial License 3.0:

Huettig, F. and U.P. Gehrke (2016) *Early complications and performance of 327 heat-pressed lithium disilicate crowns up to five years*. J Adv Prosthodont 8 (3): p. 194-200. DOI: 10.4047/jap.2016.8.3.194

Volltext: <http://jap.or.kr/DOIx.php?id=10.4047/jap.2016.8.3.194>

9 Danksagung

Mein erster Dank geht an Herrn Professor Dr. Heiner Weber für die Überlassung des Dissertationsthemas sein Vertrauen und die großzügige Unterstützung während der Promotionsphase. Im Speziellen dafür, dass ich die Möglichkeiten hatte an seiner Poliklinik zu arbeiten und die Ressourcen der Abteilung zur Durchführung der Untersuchung für diese Arbeit nutzen zu können. Deshalb auch ein Dank an alle ZMF/ ZFA/ ZAHs der Abteilung, die mir stets freundlich und zuvorkommend alle notwendigen Unterlagen schnellstmöglich zur Verfügung stellten.

Besonders möchte ich mich auch bei diesen „Damen der Abteilung“ und hier insbesondere bei Frau ZFA Anna Roma und Frau ZFA Helena Trivic bedanken, die mich während meiner Zeit als Mitarbeiter der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik immer unterstützt haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem lieben Freund und Oberarzt Herrn Dr. Fabian Huettig. Er stand mir in Problemsituation sowohl hilfreich als auch stets motivierend mit Geduld zur Seite – insbesondere seit meiner freiberuflichen Tätigkeit auch über die weite Distanz zwischen uns. Sonst wäre es mit dieser Arbeit wohl zu keinem Ende gekommen.

Mein herzlicher Dank gilt meinen Eltern und meiner Familie für die außerordentliche Unterstützung während des Studiums und der Promotion.

Ein großer Dank gilt meiner lieben Frau Tosca, die mir immer den Rücken freigehalten hat.

Zuletzt danke ich auch meinem Praxisteam, das mir ein wunderbares Berufsleben gestaltet, mich täglich unterstützt, stärkt und freudig zur Arbeit kommen lässt.