

**Leistungsfähigkeit von Einzelkronen und Brücken auf
Basis des Zirkoniumoxids IPS e.max-ZirCAD im
mittelfristigen klinischen Verlauf**

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

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

vorgelegt von

Said, Fadi Mohammad

2015

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter:

Professor Dr. H. Weber

2. Berichterstatter:

Professor Privatdozent Dr. T. Schott

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	6
1. EINLEITUNG.....	10
1.1. EINFÜHRUNG.....	10
1.2. WERKSTOFFKUNDLICHE GRUNDBEGRIFFE	13
1.2.1. <i>Druck- und Biegefestigkeit.....</i>	<i>13</i>
1.2.2. <i>Elastizitätsmodul.....</i>	<i>14</i>
1.2.3. <i>Weibull – Modul</i>	<i>15</i>
1.2.4. <i>Risszähigkeit.....</i>	<i>15</i>
1.3. VOLLKERAMIK IN DER ZAHNERSATZKUNDE	16
1.4. KERAMISCHE WERKSTOFFE / VOLLKERAMISCHE SYSTEME	19
1.4.1. <i>Silikatkeramiken.....</i>	<i>20</i>
1.4.2. <i>Oxidkeramiken.....</i>	<i>22</i>
1.4.3. <i>Zirkoniumdioxid im Speziellen.....</i>	<i>24</i>
1.4.4. <i>Y – TZP.....</i>	<i>25</i>
1.5. CAD/CAM – TECHNOLOGIE.....	29
1.5.1. <i>Scannen des Restaurationsbedarfs / Datenerfassung.....</i>	<i>29</i>
1.5.2. <i>Konstruktion der Restauration /Datenverarbeitung</i>	<i>30</i>
1.5.3. <i>Umsetzung der Restauration /Materialverarbeitung.....</i>	<i>31</i>
1.6. VERBLENDTECHNIKEN.....	33
1.7. BEFESTIGUNGSMATERIALIEN	33
1.8. BIOLOGISCHE EINFLUSSGRÖßEN UND VARIABLEN.....	38
1.8.1. <i>Präparationsrichtlinien</i>	<i>38</i>
1.8.2. <i>Bleeding on probing (BoP)</i>	<i>39</i>
1.8.3. <i>Randpassung.....</i>	<i>40</i>
1.8.4. <i>Sekundärkaries.....</i>	<i>40</i>
1.8.5. <i>Farbbeurteilung.....</i>	<i>40</i>
1.8.6. <i>Endodontische Komplikationen</i>	<i>41</i>
1.9. (MISS-)ERFOLGSBEWERTUNG.....	44
1.9.1. <i>Technische Komplikationen.....</i>	<i>44</i>
1.9.2. <i>Biologische Komplikationen.....</i>	<i>46</i>
1.10. ZIELSETZUNG DER VORLIEGENDEN ARBEIT.....	47
2. MATERIAL UND METHODE.....	48
2.1. PATIENTEN.....	48
2.2. PROTHETISCHE BEHANDLUNG	48
2.3. NACHUNTERSUCHUNG DER RESTAURATIONEN	53

2.4. DATENERFASSUNG	56
2.5. VARIABLEN.....	57
2.5.1 Hilfsvariablen	57
2.5.2. Sozio-demographische Variablen.....	58
2.5.3. Restaurationsspezifische Variablen – Konstruktionsschlüssel	58
2.5.4. Ereignisvariablen	58
2.5.5. Qualitätsvariablen.....	58
2.5.6. Zeitbasierte Variablen.....	60
2.6. STATISTISCHE METHODEN UND AUSWERTUNG	62
2.6.1. Verwertung von beobachteten Ereignissen.....	62
2.6.2. Verwertung von Qualitätsvariablen.....	63
2.6.3. Verwertung von BoP und SST.....	63
3. ERGEBNISSE	64
3.1. PATIENTENGUT UND RESTAURATIONEN	64
3.2. BEOBACHTUNGEN & EREIGNISSE AN DEN RESTAURATIONEN.....	71
3.2.1 Ereignisse an Kronen	71
3.2.2 Ereignisse an Brücken.....	72
3.3. AUSWERTUNG	77
3.3.1. Prävalenz von Komplikation und Versagen.....	77
3.3.2. Komplikationsrate	77
3.3.3. Überlebensraten	84
3.3.4. Zusammenfassung der Komplikations- und Überlebensraten:	86
3.3.5. Qualität	87
4. DISKUSSION	93
4.1. IPS E.MAX [®] ZIRCAD - VOLLKERAMIKSYSTEM.....	100
4.2. VERGLEICH VON PATIENTEN UND VERSORGUNGEN	101
4.3. ERGEBNISSE	104
4.4. SCHLUSSFOLGERUNG	108
5. ZUSAMMENFASSUNG	110
LEBENS LAUF	111
DANKSAGUNG	118

Teile dieser Arbeit wurden bereits im Rahmen der 63. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien vom 15.05. – 17.05.2014 in Aachen vorgestellt:

1. Said, F.M., Klink, A., Huettig, F., *Qualität adhäsiv befestigter Einzelkronen auf Basis des Zirkoniumdioxids IPS e.max-ZirCAD im mittelfristigen klinischen Verlauf*
2. Said, F.M., Klink, A., Huettig, F., *Qualität adhäsiv befestigter Brücken auf Basis des Zirkoniumdioxids IPS e.max-ZirCAD im mittelfristigen klinischen Verlauf*

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
®	registered trade mark, Registriert
°C	Grad Celsius
°K	Grad Kelvin
3-D	dreidimensional
A	anterior
Abb.	Abbildung
AE	adverse Event
AG	Aktiengesellschaft
B	Brückenglied
BEMA	Bewertungsmaßstab zahnärztlicher Leistungen (Ziffernbasiertes Verzeichnis mit Leistungsbeschreibungen zur Anwendung innerhalb der gesetzlichen Krankenversicherung)
BoP	Bleeding on probing
Bq/g	Becquerel pro Gramm (Radioaktivität)
bzw.	beziehungsweise
c	Einzelkrone
ca.	circa
CAD/CAM	computer aided design/computer aided manufacturing
CDA	California Dental Association
CoCr	Kobalt-Chrom
CRF	Case Report Form
CSZ	cubic stabilized zirconia, kubisch stabilisierte Phase
d.h.	das heißt
DGZMK	Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
E-Modul	Elastitätsmodul
et al.	et alii, und andere
F	weiblich

Fa.	Firma
FDI	Fédération dentaire internationale
FSZ	fully stabilized zirconia, vollständig stabilisiertes Zirkoniumdioxid
g	Gramm
g/cm ³	Gramm pro Kubikzentimeter (Dichte)
gem.	gemäß
ggf.	gegebenenfalls
GIZ	Glasionomierzement
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPa	Gigapascal
HIP	Hot Isostatic Postcompaction/ pressing (Verfahren zur Herstellung hochfester Zirkonoxid-Keramik)
HV	Härteprüfung nach Vickers
I	Index
ICRP	International Commission for Radiation Protection
ID	Identifikator
Inc.	Incorporated
insb.	insbesondere
	Internationaler Fachverband der Zahnärzte
ISO	International Organization for Standardization
K	Krone
K _i	Spannungsintensitätsfaktor
M	männlich
min.	mindestens
mm	millimeter
MPa	Megapascal
MW	Mittelwert
N	Newton
n/a	nicht anwendbar
nm	nanometer
o.a.	oben angeführt

o.g.	oben genannt
OK	Oberkiefer
p	Brückenzwischenstück
P	posterior
p	Signifikanz
PSZ	partly stabilized zirconia, teilstabilisiertes Zirkoniumdioxid
r	Brückenanker
R	Romeo, einwandfrei
Ra	Radium
S	Sierra, akzeptabel
s.	siehe
SAE	serious adverse Event schwerwiegendes unerwünschtes Ereignis
SD	Standard Deviation, Standardabweichung
sec	Sekunde
sog.	so genannt
SPT	strength, probability, time
SST	Sulkus-Sondierungstiefe
STL	Stereo Lithography
T	Tango, fraglich
Tab.	Tabelle
Th	Thorium
TM	trade mark, Marke
TZP	tetragonal zirconia polycrystal, tetragonal polykristallines Zirkoniumdioxid
UK	Unterkiefer unerwünschtes Ereignis
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
V	Victor, Misserfolg
Vol.-%	Volumenprozent
WAK	Wärmeausdehnungskoeffizient
WHO	World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation

y	Jahre
Y ₂ O ₃	Yttriumoxid
Y-TZP	Yttrium Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals, Yttrium stabilisiertes tetragonal polykristallines Zirkoniumdioxid
z.B.	zum Beispiel
ZZMK	Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
µm	mikrometer

EINLEITUNG

1. Einleitung

1.1. Einführung

Die Wünsche der Patienten ihrem Zahnarzt gegenüber haben sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert. War es vor 20-30 Jahren noch völlig ausreichend, tief zerstörte oder fehlende Zähne so zu ersetzen, dass lediglich die Funktion wiederhergestellt wurde, legen Patienten in den letzten Jahren gesteigerten Wert auf ästhetisch anspruchsvollen Zahnersatz. Dahingehend liegen vollkeramische Versorgungen an erster Stelle. Mit der Entwicklung neuer Werkstoffe und neuer Technologien setzte sich die Vollkeramik in den letzten 10 Jahren immer mehr im zahnmedizinischen Bereich durch [1]. Nach Marktstudien wurden im Jahr 2004 in Deutschland etwa 8 Prozent aller Kronen und Brücken nur auf Basis von Keramik hergestellt, wovon 40 Prozent mittels CAD/CAM (computer aided design/computer aided manufacturing) gefertigt wurden. Im Jahr 2005 waren es schon 15 Prozent Keramikversorgungen - hiervon bereits 60 Prozent auf Basis von CAD/CAM gefertigt [2].

Die Vollkeramik steht dabei in Konkurrenz zur häufig gewählten sog. Metallkeramik. Dabei werden Metallgerüste weitestgehend voll keramisch verblendet. Dieses Verfahren wirft jedoch systemimmanente Probleme - wie etwa die Transluzenz eines Metallgerüsts - auf, die nicht gelöst werden können.

Zur Herstellung zahnfarbenen und dauerhaft festsitzenden Zahnersatzes war, bis Mitte der neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts, die Metallkeramik trotzdem das Mittel der Wahl. Da das Metallgerüst als Lichtblockade wirkt, ist es deutlich schwieriger, den natürlichen Zahn perfekt zu imitieren, weil eine naturidentische Tiefe der Keramiksichtung im optischen Erscheinungsbild schwer zu erreichen ist. Aufgrund von Gefügefehlern oder Mikrospalten sowie der für die Keramikhaftung notwendigen Oxidschicht kann es, selbst bei hochgoldhaltigen Legierungen, zu Korrosionserscheinungen kommen [1].

Außer dem Wunsch nach „weißen“ Zähnen entwickeln Patienten ein immer größeres Bewusstsein für biokompatible Werkstoffe. Die Eigenschaften der

EINLEITUNG

Keramiken erfüllen die Wünsche der Patienten nach Biokompatibilität und Ästhetik in exzellenter Weise [1].

Dem Zahnarzt obliegt jedoch die Verantwortung seine Patienten – entsprechend ihrem Wunsche – mit einem „sicheren“ Zahnersatz zu versorgen. Im Vordergrund stehen dabei die Biokompatibilität, die langfristige Haltbarkeit unter den hydro-thermischen Bedingungen und mechanischen Belastungen der Mundhöhle sowie die Ästhetik.

Dies bedingt, dass vollkeramische Restaurationen hinsichtlich ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften bewertet werden, um für den klinischen Gebrauch geeignet zu sein (s. Kapitel 1.2. Werkstoffkundliche Grundbegriffe).

Wichtige Parameter sind dabei die Biegefestigkeit, die Bruchzähigkeit, der Weibull-Modul, die unterkritischen Risswachstumsfaktoren, die Dauerfestigkeit unter Wechsellast, die Risskorrosion durch Wasser sowie die Konditionierbarkeit für Verbundsysteme [3].

Die biologischen Vorteile vollkeramischer zahnärztlicher Restaurationen liegen darin, dass sie kein toxisches oder allergisches Potenzial besitzen, die bakteriellen Anhaftungen geringer sind und es möglich ist, parodontal- und zahnhartsubstanzschonend zu arbeiten. Die Ästhetik betreffend ist - einfach gesagt - ihre „zahnähnliche Farbeigenschaft“ vorteilhaft [3, 4].

Nachteile liegen in der Sprödigkeit von Keramik. Durch die Entwicklung von Verstärkungsmechanismen, Techniken der Rissablenkung und Methoden zur Verhinderung eines Weiterlaufens von Mikrorissen, konnten die mechanischen Eigenschaften der keramischen Materialien verbessert werden. Erst durch die Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Erkenntnisse aus dem Bereich der „technischen Keramiken“ (z.B. Formel-1-Bremsen) kann jedoch der sichere zahnmedizinische Einsatz vollkeramischer Systeme für Kronen und Brücken gewährleistet werden [1, 5, 6].

Wegen ihrer mechanischen Festigkeit werden Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid Hochleistungskeramiken genannt.

Um eine Hochleistungskeramik wie Y-TZP (Yttrium Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals) (s. Kapitel 1.4.4. Y – TZP; *Seite 25*) im zahnmedizinischen Bereich einsetzen zu können mussten jedoch erst

EINLEITUNG

verfahrenstechnische Hürden überwunden werden [7]. Schlüsseltechnologie dabei sind die Computer gestützten Designs und Fertigungsprozesse (CAD/CAM; s. Kapitel 1.5. CAD/CAM – Technologie; Seite 29). Es ermöglichte vornehmlich die Verarbeitung von Zirkoniumdioxid. Dieses weist eine deutlich höhere Festigkeit als Aluminiumoxid auf. Vorteilhaft für die Herstellung hochbelasteter Restaurationen [8] wie etwa Brücken. Die durchgeführten Laboruntersuchungen zur Bruchbelastbarkeit von drei- und mehrgliedrigen Zirkoniumdioxidbrücken bestätigen das [9-14]. Im neuen Jahrtausend hat die „Zirkon-Technologie“ die Entwicklung in der metallfreien Zahnmedizin, hinsichtlich der Biokompatibilität, verbesserten Ästhetik und Materialfestigkeit, rasant vorangetrieben. Der gestiegene chemische, kristallographische und produktionstechnische Wissensstand erweiterte den Anwendungsbereich von Dentalkeramiken. Für Versorgungen die früher nur in Metall ausführbar waren, können nun auch vollkeramische Systeme in Betracht gezogen werden. Signifikante Verbesserungen im Bereich der Bruchzähigkeit, Biege- und Bruchfestigkeit verringerten den Abstand der Festigkeitseigenschaften zwischen Metall und Keramik [15]. Zirkoniumdioxid ist daher der Gerüstwerkstoff als Alternative zum Metall. Der Werkstoff ist selbst für weitspannige Versorgungen (Ersatz von zwei Molarenbreiten) im Seitenzahnbereich durch den Hersteller zugelassen [7]. Mechanische und ästhetische Fortschritte der Werkstoffe werden durch Laboruntersuchungen der o.g. physikalisch-chemischen Eigenschaften erforscht. Diese Ergebnisse lassen aber keine direkten Rückschlüsse auf den klinischen Erfolg zu. Die Leistungsfähigkeit im klinischen Einsatz, also bei den täglichen Belastungen im Patientenmund, kann nur durch strukturierte Nachuntersuchungen über mehrere Jahre bewertet werden. Dabei müssen durch den Zahnarzt Dentition und Rekonstruktionen einer möglichst großen Zahl gleichartig versorgter Patienten regelmäßig untersucht werden.

Diese Qualitätsbewertungen dienen der Leistungsbewertung des Medizinproduktes „Vollkeramischer Zahnersatz“ des jeweiligen Systems. Aussagen darüber dienen letztlich der Patientensicherheit bei der Versorgung in den zahnärztlichen Praxen.

EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit untersucht klinische Ergebnisse von zirkonoxid-basierten festsitzenden Restaurationen einer prospektiv angelegten Nachuntersuchung von Vollkeramik-Versorgungen. Untersuchungsgegenstand ist das Vollkeramiksystem IPS e.max ZirCAD der Firma Ivoclar (Schaan, F. Liechtenstein) bzw. Patienten, welchen Zahnersatz dieses Systems eingesetzt wurde.

Die Ergebnisse werden den klinischen Ergebnissen ähnlicher zirkoniumdioxid-basierter, aber auch alternativer vollkeramisch sowie konventioneller metallbasierter Versorgungen gegenübergestellt.

1.2. Werkstoffkundliche Grundbegriffe

Für die Beurteilung und Verwendung eines Materials sind Kenntnisse über seine werkstoffkundlichen Eigenschaften unabdingbar. Die Anforderungen und dazugehörigen Prüfverfahren für dentale keramische Werkstoffe, die zur Herstellung von festsitzendem, vollkeramischem Zahnersatz verwendet werden, sind in der Norm DIN EN ISO 6872 festgelegt.

1.2.1. Druck- und Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit ist eine wichtige Größe für die Abschätzung der Festigkeit. „Biegebruchstäbchen“ werden mittels 3- oder 4-Punkt-Biegeverfahren oder durch die biaxiale Biegeprüfung unter Zug-/Biegebelastung gesetzt, und mit steigendem Druck bis zum Bruch belastet. Da es drei verschiedene Messverfahren gibt, wird der Vergleich der Daten oft durch das Fehlen der Angabe des verwendeten Messverfahrens erschwert, da nur dann verglichen werden kann, wenn nach ein und derselben Messmethode vorgegangen wurde. Die Biegefestigkeit wird durch die Anzahl der Defekte bei einer gegebenen Zusammensetzung und Struktur bestimmt. Sie ist also eine von der Defektverteilung abhängige Materialkenngröße. Im Gegensatz zu einer Gauss'schen Normalverteilung zeigt sie eine asymmetrische Wahrscheinlichkeitsverteilung, die durch die Weibullstatistik beschrieben wird [1, 16].

EINLEITUNG

Die Druckfestigkeit von Keramik beträgt das 5- bis 10-fache der Biege- oder Zugfestigkeit. Gefügehomoheiten spielen dabei eine untergeordnete Rolle.

Je höher die Druckfestigkeit, desto schwieriger ist es ein Material durch Kompression zum „Zerbrechen“ bzw. Versagen zu bringen. Je höher die Biegefestigkeit, desto mehr Kraft wird benötigt, um das Material dauerhaft (bleibend) zu verformen. Als 0,2% Dehngrenze bezeichnet man die Spannung (Kraft/Querschnitt), die erforderlich ist, um das Material um 0,2% bleibend zu verformen. Das Material wird fast nur elastisch verformt, es tritt kaum eine bleibende Veränderung auf.

1.2.2. Elastizitätsmodul

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 Nichtelegmetall-Legierungen auf Cobalt-Chrom-Basis entspricht [16] (s. Tabelle 1).

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.

Tabelle 1 Physikalische Eigenschaften von Metallen und Vollkeramiksystemen im Vergleich [16]

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

EINLEITUNG

1.2.3. Weibull – Modul

Anstelle der Bruchfestigkeitswerte als Werkstoffkennwert tritt die Angabe einer Versagenswahrscheinlichkeit bei einer bestimmten Belastung. Die Versagenswahrscheinlichkeit beruht auf dem Konzept der Betrachtung einer Kette, die unter einer Belastung dann bricht, wenn das schwächste Glied versagt. Sie wird deshalb auch "weakest link" – Konzept genannt [17]. Keramische Werkstoffe weisen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Streuung der Festigkeit und anderer Parameter auf, was, wie oben erwähnt, von der Oberflächenqualität, und im Besonderen von der Gefügequalität abhängt. Einen wesentlichen Einfluss hierauf haben die Zusammensetzung des Grundstoffes, die Korngröße der Ausgangsmaterialien und der Zusatzstoffe sowie das Herstellungsverfahren [1]. Perfekte Gefüge sind technisch in kompakten Teilen praktisch nicht realisierbar. Durch industriell gefertigte Grünlinge und standardisierte Verfahren bei der CAD/CAM-Technologie ist man jedoch auf einem guten Weg, höchstmögliche Werkstoffqualität zu realisieren. Verbleibende Strukturdefekte wirken allerdings Bruch auslösend. Die von Weibull entwickelte Statistik kann, im Gegensatz zur Gauss'schen Normalverteilung, die asymmetrische Werteverteilung, wie sie z.B. beim Bruch einer Keramik auftritt, gut darstellen. So kann ein Zusammenhang zwischen Größe, Geometrie, Belastungsart, statistischer Fehlerverteilung in Volumen- und Oberflächenelementen und der Bruchwahrscheinlichkeit geschaffen werden. Da die Anzahl möglicher Fehlstellen in einem keramischen Gefüge vom Bauteilvolumen abhängt, ist bei Berechnungen das belastete Volumen zu berücksichtigen. Nach der Weibull-Statistik ergibt sich über die Volumenrelation folgende Bauteilfestigkeit: $\sigma_{\text{Bauteil}} = \sigma_{\text{Probe}} (V_{\text{Probe}}/V_{\text{Bauteil}})^{1/m}$ [1].

1.2.4. Risszähigkeit

Die Fähigkeit der Keramik, Risse an ihrem Fortschreiten zu hindern, beschreibt die Risszähigkeit. Für die Langzeitfestigkeit ist es umso günstiger, je langsamer ein unter Zugspannung gesetzter Riss wächst (s. Abbildung 1). Der Spannungsintensitätsfaktor K_I , der die Spannung σ angibt, bei der ein scharfer Anriss der Länge 1 sich erweitert, wird dabei berücksichtigt. Ein standardisierter

EINLEITUNG

4-Punkt-Biegeversuch, bei dem in der Zugzone ein definierter Anriss erfolgt, dient hierbei als Test. Die Belastung, die Probengeometrie und das Rissmodell sind die Größen, von denen der Spannungsintensitätsfaktor abhängt. Die Rissöffnung bei einer senkrecht zum Riss angreifenden Zugspannung bezeichnet man als Index „I“. Da hierbei die Rissflanken auseinander gezogen werden, ist dies die „gefährlichste“ Belastung für Keramiken.

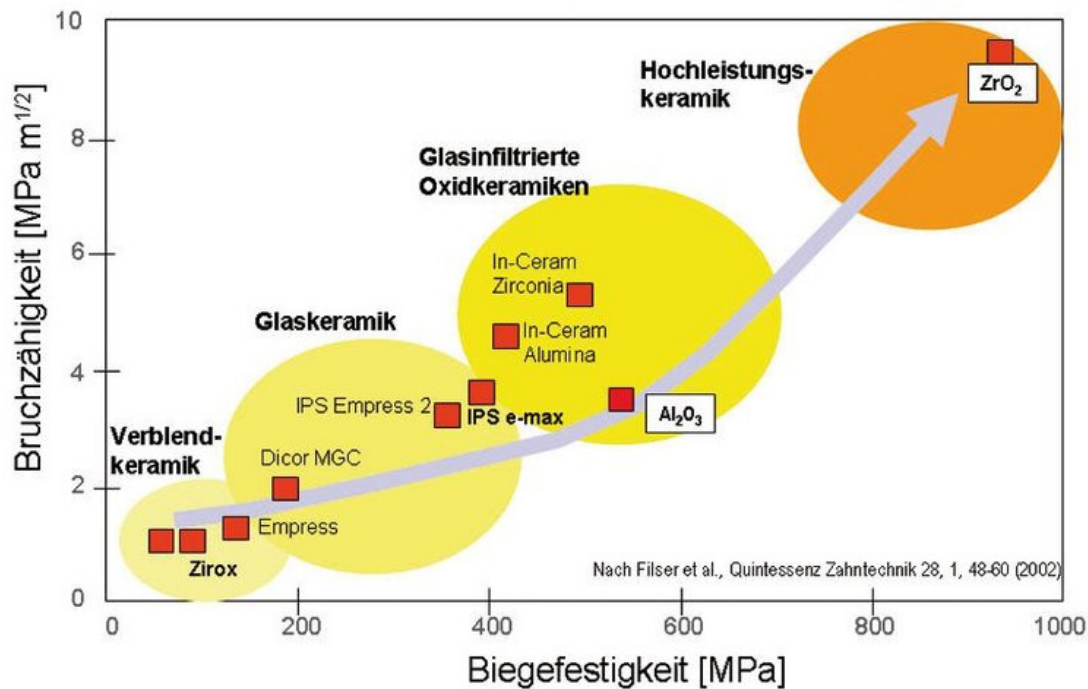


Abbildung 1 Bruchzähigkeit in Abhängigkeit von der Biegefestigkeit

Zirkoniumdioxid liegt bei einer Biegefestigkeit zwischen 700 MPa und 1000 MPa und einer Risszähigkeit zwischen 5 MPa \sqrt{m} und 10 MPa \sqrt{m} jeweils im obersten Bereich. e.max ZirCAD hat eine Biegefestigkeit von 900 MPa und eine Risszähigkeit von 5,5 MPa \sqrt{m}
Quelle: www.ztm-aktuell.de/produkte/kollegentipps/story/die-vollanatomische-zirkonoxidrestauration.html [9]

1.3. Vollkeramik in der Zahnersatzkunde

Schon Ende des 19. Jahrhunderts stellte Charles Land vollkeramische Kronen her, und begann Anfang des 20. Jahrhunderts aus der dem Porzellan abgewandelten Feldspatkeramik Kronen zu brennen, welche er "Jacket crowns" nannte [1, 18]. Bis zur Entwicklung metallkeramischer Systeme in den 1950er Jahren, waren diese Mantel- oder Jacketkronen die einzige festsitzende zahnfarbene Restaurationsmöglichkeit. Hierbei wurde auf einen mit Platinfolie

EINLEITUNG

abgedeckten Stumpf die Keramik aufgebrannt [16, 18, 19]. Da es, wegen unzureichender Aufbereitungstechnologie des Werkstoffes, ungenügender dentaler Technologie beim Brennen, mangelhafter Abform- und Modelltechnik, immer wieder zu Brüchen kam, und die Technik keramikverblendeter Metallkronen weiterentwickelt und verbessert wurde, kam diese Technik immer weniger zur Anwendung [1, 16]. Der Nachteil liegt in der hohen Bruchwahrscheinlichkeit, deren Ursache in der geringen Festigkeit der Keramik und einem unzureichenden Randschluss zu suchen ist [16]. Mitte der 1960er Jahre untersuchte McLean in seiner Dissertation den Einfluss von zu Feldspatglas hinzugefügtem Aluminiumoxid verschiedener Konzentration. Hierbei entstand die Idee eines vollkeramischen Verbundsystems, nachdem er den Werkstoff bezüglich der Festigkeit und Transluzenz optimierte.

Seine Überlegung zu einem System, welche sich bis heute durchsetzte:

Ein keramischer Gerüstwerkstoff höherer Festigkeit, geringerer Transluzenz mit einem keramischen Verblendwerkstoff, höherer Transluzenz und geringerer Festigkeit [20, 21].

Ende der 80er Jahre erschien der Werkstoff In-Ceram (Fa. Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland), dessen Biegefestigkeit so hoch war, dass die Festigkeitswerte denen der Metallkeramik nahezu gleichkamen [16]. Ebenfalls Ende der 80er Jahre kam das „klassische“ IPS-Empress-System (Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) auf den Markt. Hierbei handelt es sich um eine Leuzit-verstärkte Glaskeramik, die (analog zur Gusstechnik) in eine ausgebrannte Hohlform gepresst wird, nachdem sie durch Erhitzen in einen plastischen Zustand versetzt wurde.

Ende der 90er Jahre wurde teilstabilisiertes Zirkoniumdioxid, aufgrund seiner exzellenten Biege- und hohen Bruchfestigkeit, als geeignet für den zahnmedizinischen Gebrauch eingestuft und gefördert. Zur Verarbeitung war aber eine Schleiftechnologie notwendig. Vorreiter war das CELAY Kopierschleifverfahren. Bei diesem System wird ein Restaurationsmodell aus Kunststoff erstellt, welches dann abgetastet wird. Der Taster ist direkt mit dem Kopierschleifer verbunden, der aus einem vorgefertigten Keramikrohling eine identische Restauration herausarbeitet während manuell die Kunststoffvorlage

EINLEITUNG

abgetastet wird. Das System wurde nicht weiterentwickelt und wird heute kaum noch eingesetzt, da es von digitalen CAD/CAM-Systemen ersetzt wurde. Mit Einführung dieser CAD/CAM Technologie stieg die Akzeptanz von Zirkoniumdioxid in der Zahnmedizin [15].

Unter dem Namen „Empress 2“ stellte die Firma Ivoclar ebenfalls Ende der 90er Jahre eine neue synthetische Glaskeramik mit Lithiumdisilikat-Kristallen vor.

Im Jahre 1994 entwickelte man bereits ein kombiniertes CAD/CAM/Press-Verfahren. Bei der sog. Procera-Krone (Fa. NobleBiocare, Zürich, Schweiz) wird nach Einscannen eines Stumpfmodells ein Käppchen aus Aluminiumoxidpulver gesintert, welches dann vom Zahntechniker verblendet wird. Zeitgleich arbeitet das DCS-Team (DCS Dentalsysteme GmbH, Kelkheim, Deutschland) an der CAD/CAM-Fertigung von Kronen- und Brückengerüsten aus nachgedichtetem „gehiptem“ Zirkoniumdioxid (Hot Isostatic Postcompaction/pressing = HIP) [16]. Besonderheit hierbei ist die Problematik der Schleifbarkeit des hochfesten Weißlings aus Zirkoniumdioxid.

Vollkeramikversorgungen von Einzelkronen bis hin zu weitspannigen Brückenkonstruktionen konnten dann mit Einführung dieser Oxidkeramiken in die Zahnmedizin Einzug halten [6, 22, 23]. Die Materialeigenschaften dieser Keramiken setzen jedoch den Einsatz von CAD/CAM-Verfahren voraus. Hierbei wird der Zahnersatz aus industriell hergestelltem Halbzeug herausgearbeitet [24]. Verblendet werden die Gerüste dann mit abgestimmten Feldspatkeramiken.

Grundsätzlich können die heute in der Zahnmedizin verwendeten keramischen Werkstoffe in zwei Gruppen eingeteilt werden:

die mehrphasigen Silikatkeramiken, die einen hohen Glasanteil besitzen,

und

die einphasigen Oxidkeramiken, die wenn, dann nur einen geringen Glasanteil aufweisen.

EINLEITUNG

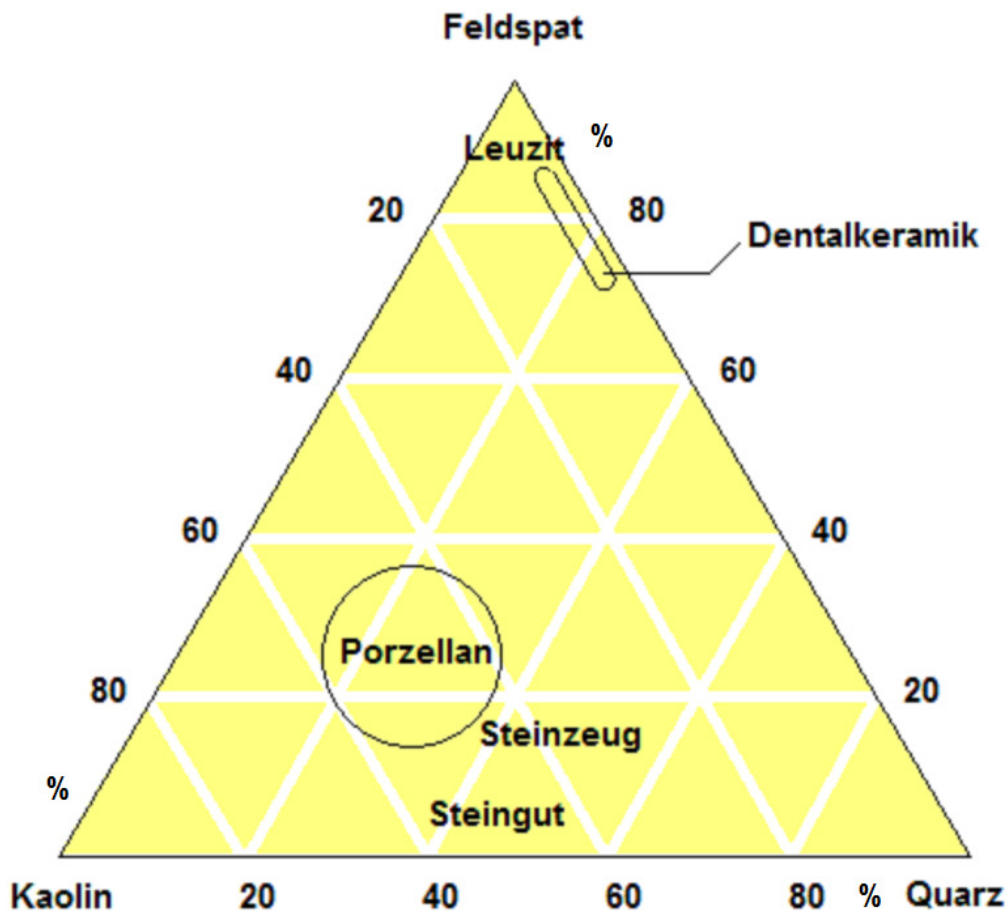


Abbildung 2: Lage der Dentalkeramik im Ternären System der Quarz-Feldspat-Kaolin im Leuzitausscheidungsbereich nach Körber 1993 Im gegensatz zu z.B. Porzellan besteht Dentalkeramik vor allem aus Leuzit und Quarz. Der Kaolingehalt ist minimal.

1.4. Keramische Werkstoffe / Vollkeramische Systeme

Eine Einteilung der Keramiken kann unter verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Einteilungskriterium kann das Herstellungsverfahren (Sintern, Pressen, Gießen) oder der Anwendungsbereich (Gebrauchskeramik, Baukeramik, Technische Keramik) sein. Da aber bei der Einteilung nach dem chemischen Aufbau (Silikatkeramik, Oxidkeramik) auch eine Abschätzung der Festigkeitseigenschaften möglich ist, bietet sich diese insbesondere bei Dentalkeramiken an.

EINLEITUNG

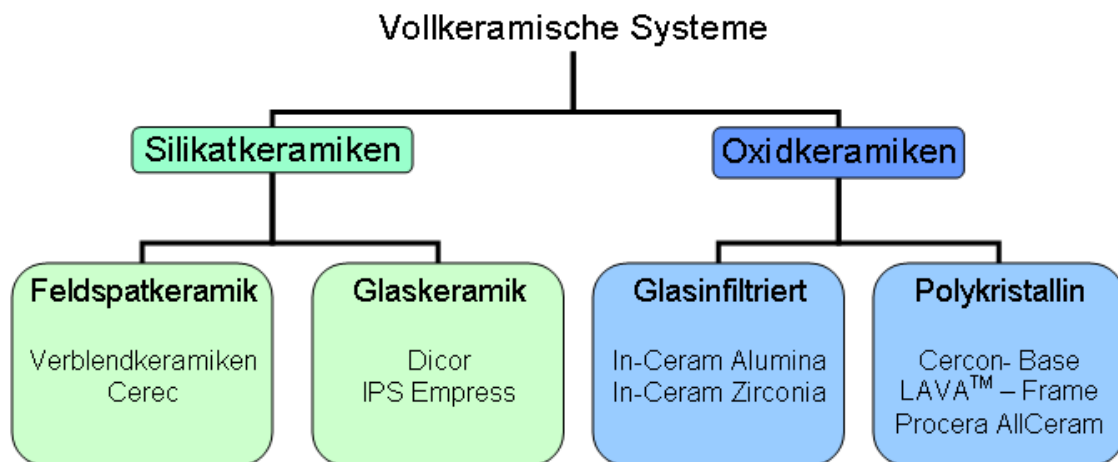


Abbildung 3 Übersicht vollkeramischer Systeme nach Pospiech 2004 Einteilung nach chemischem Aufbau. Silikatkeramiken und Oxidkeramiken lassen sich nochmal in Feldspat- und Glaskeramik (Silikatkeramik), oder glasinfiltrierte und polykristalline Keramik (Oxidkeramik) einteilen.

Das in der vorliegenden Arbeit untersuchte IPS e.max ZirCAD ist nach dieser Einteilung den polykristallinen Oxidkeramiken zuzuschreiben.

1.4.1 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. Silikatkeramiken können, als hochfeste Lithium-Disilikatkeramik mit Festigkeitswerten bis 450 MPa, sowohl für vollanatomische, farblich charakterisierte Restaurationen, als auch als Gerüstwerkstoffe mit aufgeschichteten Verblendkeramiken oder als geschliffene Verblendstrukturen verwendet werden. [1, 25]

EINLEITUNG

Feldspatkeramiken

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 [26, 27]. Durch feinverteilte Leuzit- und Feldspatkristalle wird die Verfestigung der Keramik erreicht, wobei die Biegefestigkeit bei lediglich 100 MPa liegt. Mechanische Festigkeit und Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK) der Keramik, sowie die hohe Viskosität und Standfestigkeit, die dafür sorgen, dass während des Brennens die Modellation nicht zerfließt, werden vom Leuzitgehalt beeinflusst [26, 27]. Um die vielfältigen Farbnuancen natürlicher Zähne nachzuahmen, lassen sich Opazität und Transparenz durch Zugabe mineralischer Zusätze gezielt steuern [25, 26]. Beim Brennen der Keramik handelt es sich um einen Sintervorgang, bei dem insbesondere Kalifeldspat für die Bildung der Leuzitkristalle verantwortlich ist. Die Brenntemperatur liegt hierbei unter der Schmelztemperatur. Während des Sinterns werden Porositäten fast vollständig verhindert. Jedoch ist, trotz verschiedener Maßnahmen ein Brennschwund unter 15 Vol.-% kaum erreichbar [26].

Silikatkeramiken sind den mehr oder weniger silikatfreien Oxidkeramiken in allen ihren mechanischen Eigenschaften deutlich unterlegen [28].

Glaskeramiken

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 [1]. Glaskeramiken können im Guss- oder Pressverfahren verarbeitet werden.

Gießen

Beim Gussverfahren werden die Kronen in anatomisch korrekter Dimension überführt. Das Verfahren entspricht einfach gesprochen dem Metallguss. Die Schmelztemperatur liegt dabei zwischen 1350°C und 1400°C. In einem zweiten Schritt werden die transparenten Kronen nach dem Erstarren und Ausbetten

EINLEITUNG

sechs Stunden bei 1075°C gegläht. Dies führt zwar zum Transparenzverlust, steigert aber die mechanische Festigkeit des Materials. Diese Kristallisation, bei der sich aus dem Glas Kristallite ausscheiden, die schließlich mehr als die Hälfte des Volumens einnehmen, wird auch Keramisieren genannt. Durch das Einbrennen von Malfarben erfolgt die Farbgebung, wobei angemerkt werden muss, dass diese dünnen aufgetragenen Farbschichten immer von abrasiven Effekten bedroht sind.

Pressen

Beim Pressverfahren (IPS-Empress-System) wird eine in Wachs modellierte Krone, wieder analog zum Metallgußverfahren, feuerfest eingebettet. Plastifizierte leuzitverstärkte Keramikmassen aus vorgefertigten Rohlingen werden dann bei 1180°C in den ausgebrannten Hohlraum verpresst [26]. Während der Abkühlungsphase nach dem Pressen führen unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten von Leuzitkristallen und der Glasmatrix zu einer Festigkeitssteigerung [6]. Optimale Leuzitkristallverteilung in der Glasphase führt zu einer Biegefestigkeit, die im Bereich von 150 – 200 MPa liegt [16]. Die Farbgebung erfolgt wiederum durch Malfarben. Glaskeramik hat durch seine eingeschränkte Indikation (adhäsiv befestigte Einzelkronen im Frontzahnbereich) heute keine klinische Relevanz mehr.

1.4.2. Oxidkeramiken

Wie oben beschrieben, werden Oxidkeramiken 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 extreme mechanische, thermische und korrosive Belastbarkeit erzielt. Gleichzeitig sind diese Werkstoffe selbst in Schichtdicken von 0.3 mm opak und farblich im Bereich gelblich bis reinweiß.

Daher werden Oxidkeramiken fast ausschließlich als Gerüstkeramik verwendet! [1, 25].

EINLEITUNG

Glasinfiltrierte Keramiken

Glasinfiltrierte Oxidkeramiken bestehen meist aus einem Aluminiumoxidgerüst, das anschließend, um die Festigkeit zu steigern, mit Glas (Lanthanglas) infiltriert wird [25].

Aluminiumoxidbasierte Infiltrationskeramik (In-Ceram[®]) steht in drei Modifikationen zur Verfügung. In der ursprünglichen Form als reines Aluminiumoxid (In-Ceram-Alumina). Als Aluminium-/Magnesiumoxid Mischkristall (In-Ceram-Spinell), mit einer für Oxidkeramik hohen Transluzenz und reduzierten Festigkeit. Und als Aluminium-/Zirkoniumdioxid Mischkristall, mit hoher Festigkeit und vollständiger Opazität bei dünner Wandstärken (\square 0,8 mm) [29]. Der Vorteil der Infiltrationskeramik liegt im porösen Sinterungsprozess. Dadurch lässt sich die Keramik mechanisch gut bearbeiten und ist schrumpfungsfrei. Herstellen lässt sie sich durch die klassische Schlickertechnik, Kopierschleifen, CAD/CAM und Elektrophorese [30]. Nachteil ist die Glasinfiltration, also auch die Porösität. Dadurch bleibt die Festigkeit hinter der des Aluminium- und Zirkoniumdioxids zurück. Aufgrund des geringen Glasanteils bleibt die Ätzung mit Flusssäure ohne Wirkung [29].

Polykristalline Keramiken

Klinisch kommen polykristallines Aluminium- und Zirkoniumdioxid durchgesintert und porenfrei zum Einsatz. Dabei sind Festigkeit und Härte so hoch, dass diese Materialien fast nur mit CAD/CAM-Systemen bearbeitet werden können. Dies ist ein stundenlanger Prozess mit hohem Verschleiß, was dazu führt, dass die Mehrzahl der Systeme Grünkörper, also industriell vorgefertigte porös an- und vorgesinterte Keramikrohlinge, verarbeiten. Durchgesintert werden die Formteile dann bei 1500°C, was zu einer Schrumpfung von 20-30% führt. Diese Sinterschrumpfung wird vor dem Schleifprozess individuell von Computern errechnet, und die Gerüste um den vorausgerechneten Prozentsatz überdimensioniert. Um eine Fehlerquelle zu vermeiden, verarbeiten einige Systeme auch durchgesinterte Oxidkeramiken, da beim industriell kontrollierten Herstellungsweg eine optimierte Materialqualität gewährleistet sei [29].

EINLEITUNG

1.4.3. Zirkoniumdioxid im Speziellen

Zirkoniumdioxid wird in der Zahnersatzkunde seit einigen Jahren, aufgrund der hohen initialen Festigkeit und Langzeitstabilität für Kronen- und Brückenkonstruktionen genutzt. Es wird aus Zirkonsand und Zirkonerde hergestellt, und ist chemisch gesehen eine unlösliche Verbindung, die von Säuren und Laugen nicht angegriffen wird. In den letzten Jahren gewinnt Zirkoniumdioxid wegen höchster Zug- und Biegefestigkeit, hoher Bruchzähigkeit, hoher Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und geringer Wärmeleitfähigkeit zunehmend an Bedeutung. Es besitzt einen stahlähnlichen E-Modul [31]. Bei einem Schmelzpunkt von 2715°C kristallisiert bei Abkühlung zunächst die kubische Phase bei 2706°C, die sich bei 2370°C in die tetragonale und diese dann bei 1170°C in die monokline Phase umwandelt.



Abbildung 4 Phasentransformation von Zirkoniumdioxid

Bei Abkühlung wandelt sich die kubische Phase bei 2370°C in die tetragonale Phase um. Bei 1170°C wandelt sich diese dann bei gleichzeitigem Volumenzuwachs von 3-5% in die monokline Phase um, was praktisch zur Rissbildung im Material bei Abkühlung führt. Die Zugabe von ca. 5% Yttriumoxid stabilisiert die tetragonale Phase bis auf Raumtemperatur (s. Abbildung 5).

Quelle: www.zirkonpoint.de/cms/upload/PDF/Lava_Kompodium_Pospiech.pdf [1]

Vor allem im Herstellungsprozess und bei der Verarbeitung unterscheiden sich Zirkoniumdioxidkeramiken. Kristallbildung und Gefügestruktur werden vom Sintervorgang beeinflusst, der mehr oder minder homogene und gefügefehlerfreie Materialien liefert. HIP-Zirkoniumdioxid ist besonders aufwendig in der Herstellung, da ihm ein mehrtägiger Sinterprozess mit Nachvergütung unter extrem hohem Druck (1000 bar) zugrunde liegt.

Im Gegensatz hierzu stehen vorgesinterte Zirkoniumdioxidblöcke, die durch relativ niedrigen Verdichtungsgrad (55-70%) wesentlich einfacher gefräst werden können. Nach der Formgebung als Grünling ist bei der anschließenden

EINLEITUNG

Sinterung mit einer Schwindung von bis zu 20% zu rechnen, weshalb um diesen Betrag überdimensioniert gearbeitet werden muss [25, 32]. Ermöglicht wird dies in der notwendigen Präzision nur durch computergestützte Verfahren (s. Kapitel 1.5. CAD/CAM – Technologie; *Seite 29*).

1.4.4. Y – TZP

Die Umwandlung von tetragonal zu monoklin (s. Abbildung 4) ist mit einem Volumenzuwachs von 3-5% verbunden. Dies führt zu Rissbildungen, weshalb reines Zirkoniumdioxid nicht als Werkstoff eingesetzt werden kann. Durch gezielte Zugabe von ca. 5% Yttriumoxid (Y_2O_3) wird, bei exakter Kontrolle des industriellen Herstellungsprozesses, die tetragonale Phase bis zur Raumtemperatur stabilisiert [31]. Unterschieden werden dabei vollstabilisiertes Zirkoniumdioxid (FSZ - fully stabilized zirconia) und teilstabilisiertes Zirkoniumdioxid (PSZ - partly stabilized zirconia). Für die Zahnmedizin am bedeutendsten ist das teilstabilisierte, polykristalline, tetragonale Zirkonoxid (TZP - tetragonal zirconia polycrystal). Y-TZP benennt die Stabilisierung auf Yttriumoxid-Basis.

EINLEITUNG

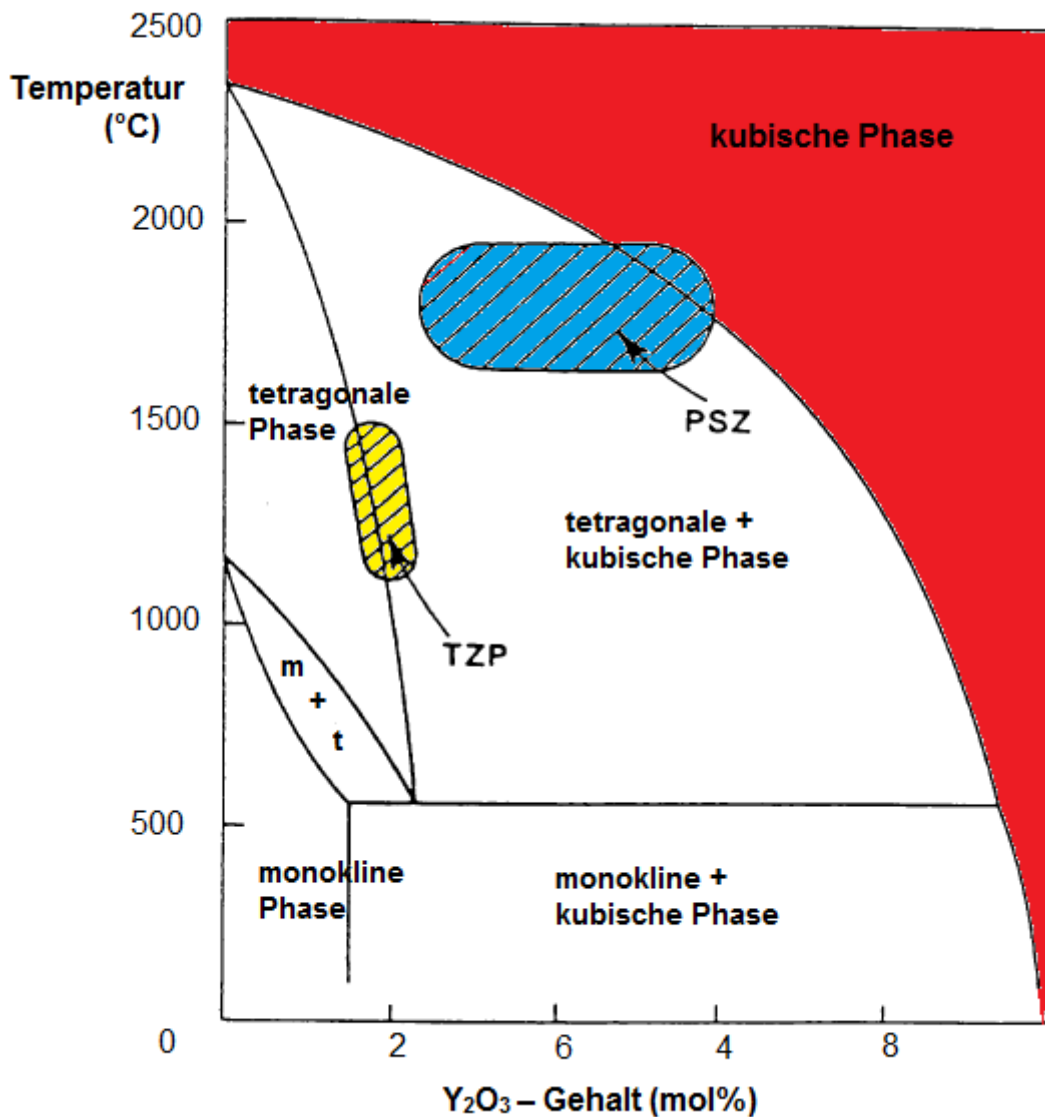


Abbildung 5 Phasendiagramm des Systems Y-TZP nach Scott

Dargestellt ist die Beziehung zwischen Temperatur und Yttriumoxid-Gehalt und die daraus resultierenden Phasen. Rot ist die kubisch stabilisierte Phase (CSZ) bei einem Yttriumoxid-Gehalt von über 8 Mol% dargestellt. Blau gefärbt ist teilstabilisiertes Zirkoniumdioxid (PSZ) bei einem Yttriumoxid-Gehalt von 2,5 Mol% bis 8 Mol%. Das Zahnmedizinisch relevante Y-TZP ist Gelb gekennzeichnet und hat einen Yttriumoxid-Gehalt unter 2,5 Mol%.

Quelle: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5780>

EINLEITUNG

Yttriumstabilisiertes Zirkoniumdioxid kann, wie im Phasendiagramm (Abbildung 5) dargestellt, entsprechend dem Gehalt an Y_2O_3 in folgende Werkstoffe unterteilt werden:

- CSZ, kubisch stabilisiertes Zirkoniumdioxid (Y_2O_3 – Gehalt > 8 Mol%)
- PSZ, teilstabilisiertes Zirkoniumdioxid (Y_2O_3 – Gehalt $> 2,5$ Mol% – < 8 Mol%)
- TZP, tetragonal polykristallines Zirkoniumdioxid (Y_2O_3 – Gehalt $< 2,5$ Mol%)

Bei Y_2O_3 – Gehalt > 8 Mol% ist die kubische Phase vom Schmelzpunkt bis zur Raumtemperatur stabil.

Im Bereich $2,5 - 8$ Mol% Y_2O_3 – Gehalt ist von ca. $1500^\circ C$ (Sintertemperatur) bis ca. $500^\circ C$ ein Phasengemisch von kubischer und tetragonaler Phase stabil, die bei tieferen Temperaturen dann zu einem Gemisch aus monokliner und kubischer Phase wird.

Bei Y_2O_3 – Gehalt von $2,5$ Mol% bildet sich beim Sintern eine tetragonale Phase, die sich zunächst ohne nennenswerte Störung in die monokline Phase umwandelt. Bei sehr kleinen Kristalliten ($0,3 \mu m$) ist die Umwandlung jedoch gehemmt und die tetragonale Phase wird „metastabil eingefroren“. Diesen Werkstoff bezeichnet man aufgrund des Gefüges aus sehr kleinen Kristalliten als TZP [8]. Für die mechanischen Eigenschaften des Materials wie Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit und Dauerfestigkeit sind diese Rahmenbedingungen im Vergleich zu anderen Dentalkeramiken sehr wichtig. Hierfür verantwortlich ist die Umwandlungsverstärkung [31].

Herstellungsbedingte Mikrorisse liegen in jeder Keramik vor. Im wässrigen Milieu wird durch den Mechanismus der Spannungskorrosion das Risswachstum beschleunigt. Beim Y-TZP bildet die Phasenumwandlung (s. Abbildung 4) einen „Reparaturmechanismus“. Die tetragonale Phase hat die Tendenz sich bei Raumtemperatur spontan in die monokline Phase umzuwandeln. Dort, wo Risse tetragonale Kristalle erreichen, findet die Phasenumwandlung unter Volumenzunahme von $3 - 5\%$ statt. Im Zuge dieser Umwandlung treten Kompressionskräfte auf, die der Zugspannung

EINLEITUNG

im Rissbereich entgegenwirken. Um dem Risswachstum entgegenzuwirken, ist zusätzliche Energie erforderlich. Dieser Energieabsorptionsmechanismus beruht auf der martensitischen Transformation, die an der Risspitze auftritt. Die Verstärkung der Bruchzähigkeit entsteht durch die Umwandlung der mit dem Risswachstum zusammenhängenden Energie in die tetragonal/monoklin Transformation und die Überwindung der Kompressionskräfte durch die Volumenzunahme. Dieser Mechanismus wird als "transformation toughening" bezeichnet und bildet die Basis für die hohe Festigkeit von Y – TZP [15]. Der Rissentwicklung wird schon von vornherein entgegengewirkt, da die verhinderte Umwandlung die Oberfläche unter Kompression setzt. Diesem Mechanismus verdankt Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumdioxid seine enorme Festigkeit und Rissunempfindlichkeit im Gegensatz zu Glaskeramiken. Die Hoffnung besteht, dass diese Anfangsfestigkeit über lange Zeit unter klinischer Beanspruchung erhalten bleibt [29, 32].

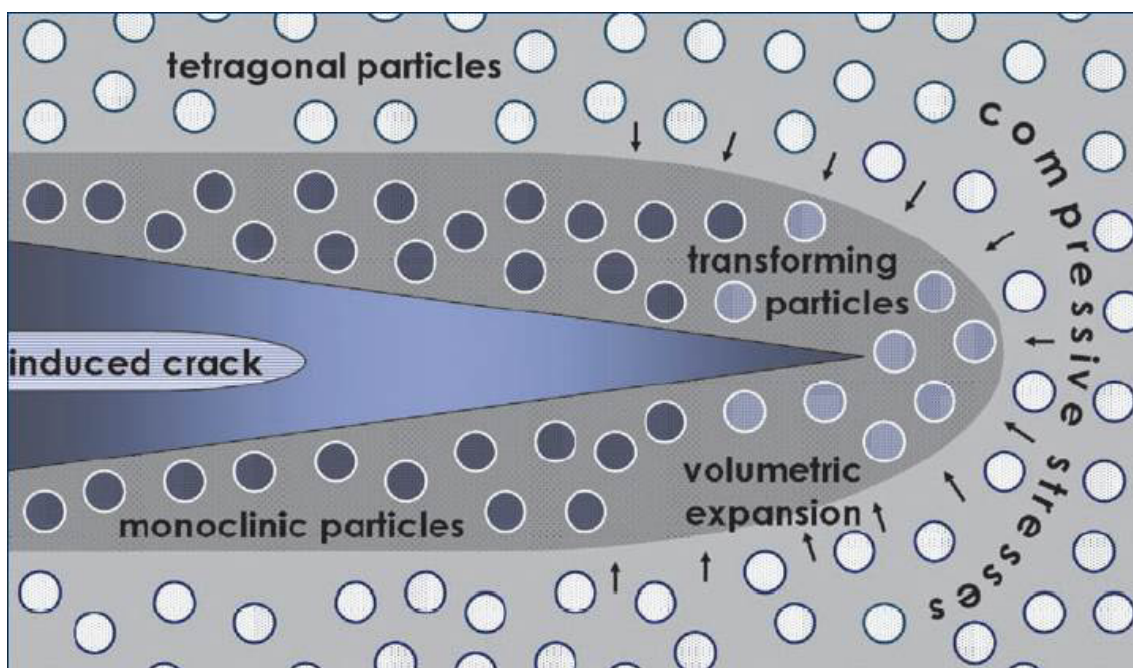


Abbildung 6 Phasentransformation an der Risspitze .

Nach Rissbildung wandelt sich die tetragonale Phase (hellblaue Kreise mit dunklem Rand) bei Raumtemperatur spontan in die monokline Phase (dunkelblaue Kreise mit hellem Rand). Die Phasenumwandlung findet unter 3-5% Volumenzunahme statt. Dieser Mechanismus wird als "transformation toughening" bezeichnet.

Quelle: http://www.corfudental.gr/zirconia/zirconia_1.pdf [15]

EINLEITUNG

1.5. CAD/CAM – Technologie

Die dreidimensionale Planung eines Werkstückes am Computer mit anschließender automatisierter Herstellung durch eine computergesteuerte Werkzeugmaschine wird als "Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing" (CAD/CAM) bezeichnet. Der Begriff kommt aus dem technischen Maschinenbau. Bereits 1971 wurden erste Ideen zur computergestützten Herstellung prothetischer Restaurationen von François Duret, der als Begründer der CAD/CAM – Technik in der Zahnmedizin gilt, geäußert. Der industrielle Einsatz der CAD/CAM – Technologie bietet die Möglichkeit, beliebig viele gleichartige Werkstücke automatisch herzustellen. In der Zahnmedizin allerdings muß die Form des Zahnersatzes stets individuell an den Patienten angepasst sein. Zusätzlich zu dieser Unikatanfertigung ist es notwendig, fertigungsgenaue, relativ klein dimensionierte Teile herzustellen, an die ein hoher Anspruch an Funktionalität und Ästhetik gestellt wird [33, 34]. Der Einfluss der CAD/CAM-Technologie auf die restaurative Zahnmedizin zeigt sich in der Entwicklung der für den dentalen Markt angebotenen Systeme. Waren es 2002 noch zehn, so stieg ihre Zahl bis 2010 schon auf fünfunddreißig [35].

Das Prinzip der aktuellen CAD/CAM – Systeme beruht auf drei Komponenten:

1. Datenerfassung (Scannen),
2. Datenverarbeitung (Konstruktion),
3. Umsetzung (Materialbearbeitung)

1.5.1 Scannen des Restaurationsbedarfs / Datenerfassung

Zunächst werden die vom Zahnarzt präparierten Zähne intraoral oder extraoral mittels Modellen oder Abformungen abgescannt.

Wichtigster Punkt für ein gutes Endresultat, d.h. eine saubere Erfassung der Präparationsgrenzen durch den optischen Abdruck, ist die einwandfreie Darstellung der zu restaurierenden Strukturen und die Einhaltung der Präparationsrichtlinien, wie sie allgemein für Keramikrestaurationen gelten [35].

EINLEITUNG

Daten bezüglich der Nachbarzähne und Antagonisten sowie die räumliche Relation müssen ebenfalls erfasst werden.

Grundsätzlich wird Zahn um Zahn gescannt, und die Einzelaufnahmen dann zum Quadranten zusammengesetzt. Ist der Datensatz fertiggestellt, kann er an das zahntechnische Labor weitergegeben, und hier in das CAD-System eingespeist werden [36].

Die 3-D-Datenerfassung kann auch extraoral im dentalen Labor durchgeführt werden. Hierbei wird wie gewohnt eine konventionelle Abformung durch den Zahnarzt angefertigt und an das dentale Labor gesendet. Gescannt wird dann das aus speziellem Gips gegossene Modell, oder in Einzelfällen direkt die Abformung [37].

Am Ende beider Vorgehen (intra-/ und extraoralem Scannen) steht ein Datensatz, der den Restaurationsbedarf und alle umliegenden Strukturen in einem 3D-Bild am Computer abbildet.

Neben den Komponenten Scanner, CAD und CAM sind bei geschlossenen CAD/CAM-Systemen auch die einsetzbaren Werkstoffe aufeinander abgestimmt, und können als vierte Komponente aufgefasst werden [34]. Eine zunehmende Öffnung der Systeme ermöglicht es, aus unterschiedlichen CAM-Fertigungstechnologien den jeweils fallspezifisch am besten geeigneten Fertigungsprozess auszuwählen. Die CAD Daten können hierbei, meist im STL-Format, für den Export ausgegeben werden [34, 38].

1.5.2. Konstruktion der Restauration /Datenverarbeitung

Daraufhin wird am Computer eine dreidimensionale Planung und Konstruktion des Zahnersatzes erstellt. Der Scanner und das CAD bilden hierbei im Regelfall eine Einheit. Die dafür notwendige Software liefern die Hersteller bzw. Patenteigner von CAD/CAM System. Derzeit am gängigsten sind die Systeme CEREC der Firma Sirona und 3Shape CAD Design Dental Systems.

Die Konstruktion am Bildschirm erlaubt die Konstruktion und Prüfung von Mindestdicken und Verbinderstärken. Der Konstrukteur – zumeist ein fortgebildeter Zahntechniker – muß dabei zahntechnisches Wissen und Handling am PC umsetzen.

EINLEITUNG

Bei der Erstellung von Kronen- und Brückengerüsten entfällt die Berücksichtigung approximaler und okklusaler Kontaktpunkte. Die Herstellung eines nach anatomischen Gesichtspunkten gestalteten Gerüstdesigns sollte unter Einbeziehung der Kontaktverhältnisse jedoch möglich sein. Die Konstruktion wird bei diesem „intelligenten Gerüstdesign“ in allen Bereichen mit genügend Platz zu Antagonisten, Nachbarzähnen und Gingiva verstärkt, um eine gleichmäßige Verblendkeramikschiicht aufbrennen zu können. Zu große Verblendschichtstärken, Schichtstärkenschwankungen und Materialspannungen sollen so vermieden, und die Verblendkeramik ausreichend unterstützt werden [34, 38]. Bei der Gerüstgestaltung ist große Sorgfalt geboten, da Zirkoniumdioxid weder verlötet noch verschweißt werden kann, und fertige Gerüste nicht getrennt und neu verbunden werden können [37]. Verbinderstärken im Frontzahnggebiet dürfen laut Hersteller bei IPS e.max ZirCAD 7mm^2 bei verblockten Kronen und 3-gliedrigen Brücken, 9mm^2 bei 4 bis 12-gliedrigen Brücken mit 2 Zwischengliedern und 12mm^2 bei Freidendbrücken mit 1 Anhänger nicht unterschreiten. Im Seitenzahnggebiet müssen Mindestverbinderstärken von 9mm^2 bei verblockte Kronen und 3-gliedrige Brücken und 12mm^2 bei 4 bis 12-gliedrigen Brücken und Freidendbrücken gewährleistet sein. Neben der ausreichend großen Querschnittsfläche ist bei der Gestaltung der Verbinder auch das Verhältnis der Breite zur Höhe zu beachten. Grundsätzlich gilt: Höhe \geq Breite.

1.5.3. Umsetzung der Restauration /Materialverarbeitung

Im dritten Schritt wird nun, im CAM Bereich, der virtuelle Zahnersatz durch unterschiedliche Fertigungstechnologien in den dentalen Werkstoff umgesetzt. Das CAM übernimmt die Rolle des Übersetzers und gehört zur Maschine [34, 39]. Die Systeme – also der Datensatz des Designs und die Anforderungen der Datengesteuerten Maschine müssen dabei allerdings kompatibel bzw. auf einander abgestimmt sein. Man unterscheidet bei den Fertigungstechnologien zwei Verfahren. Wenige CAD/CAM-Systeme verwenden den additiven Aufbau von Dentalwerkstoffen auf eine Stumpfoberfläche. Diese Technologien beruhen entweder auf dem Verfahren der Elektrophorese, oder z.B. der In-

EINLEITUNG

Ceram-Schlickertechnik. Deutlich häufiger wird Zahnersatz substraktiv durch Fräsen oder Schleifen unter Verwendung von 3-6-achsigen CAM-Anlagen aus industriell vorgefertigten Rohlingen herausgearbeitet. Bei Zirkoniumdioxidrohlingen kann hierbei die Formgebung vor sowie nach dem Sintervorgang geschehen. Unterscheiden kann man, in Abhängigkeit vom Produktionsablauf, die Grün- oder Weißbearbeitung von vorgesinterten und die Hartbearbeitung von dichtgesinterten Keramikrohlingen. Bei der Hartbearbeitung sind der höhere Zeit- und Arbeitsaufwand, sowie der große Verschleiß der Schleifwerkzeuge zu beachten. Bei der Weißbearbeitung muss dagegen die beim Sinterprozess auftretende Sinterschrumpfung computergesteuert ausgeglichen werden [34].

Aus industriell präfabrizierten Keramikrohlingen wird in computergesteuerten Fräs- und Schleifmaschinen der konstruierte Zahnersatz aus dem Werkstoffblock herausgearbeitet. Beim Fräsen ungesinteter Rohlinge, kann die Software die spätere Sinterschrumpfung durch eine prozentual vergrößerte Formfräsung des Datensatzes vorwegnehmen. Ungesinterte Fräsung bietet den Vorteil, dass die Fräs bzw. Schleifwerkzeuge einen niedrigeren Verschleiß haben.

Nach der CAM Fertigung und ggf. abschließenden Sinterung, muss die Passgenauigkeit überprüft und ggf. Korrekturen durch den Zahntechniker vorgenommen werden. Abschließend ist eine Individualisierung durch Malfarben bzw. Verblendmaterialien sowie eine Endpolitur erforderlich.

EINLEITUNG

1.6. Verblendtechniken

Zirkoniumdioxid-Gerüste können wie gewohnt per Schichttechnik verblendet werden. Es ist darauf zu achten, dass Gerüst- und Verblendkeramik aufeinander abgestimmt sind. Besonders beachtet werden sollten hierbei eine nicht zu schnelle Abkühlung, ein abgestimmter WAK sowie eine höckerunterstützende Gestaltung des Gerüsts und damit eine geringere Verblendschichtstärke, um das Risiko von Abplatzungen zu minimieren [40].

Neu entwickelte Verblendverfahren ermöglichen, die Verblendung aus Sinterfluorapatit-Keramik herzustellen und damit das Kronen- oder Brückengerüst aus Lithiumdisilikat oder Zirkoniumdioxid zu überpressen [41].

Alternativ kann mit Hilfe der CAD / CAM-Technik eine Verblendschale aus einem Keramikblock computerunterstützt ausgeschliffen und auf das Gerüst aufgesintert werden [42].

1.7. Befestigungsmaterialien

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. Gemäß ihrer chemischen Zusammensetzung können die heute üblicherweise verwendeten Befestigungsmaterialien in folgenden Gruppen klassifiziert werden:

Zinkoxidphosphatzemente Polycarboxylzemente Glasionomerezemente (GIZ)	→	konventionelle Zemente
Harzmodifizierte GIZ Kompomere	→	Hybridzemente
Adhäsive Harzzemente Selbst-Adhäsive Harzzemente	→	Komposit Harzzemente

Goodacre beschreibt in einem Research aus dem Jahr 2003 das Auftreten und die häufigsten Komplikationen bei Einzelkronen, Brücken, Vollkeramikronen, adhäsiv-Brücken und Stiftaufbauten. Es wurden englischsprachige

EINLEITUNG

Publikationen der letzten 50 Jahre untersucht. Die geringste Komplikationsrate wiesen die Vollkeramikkrone (8%) gefolgt von den Stiftaufbauten (10%) und den konventionellen Einzelkronen (11%) auf. Adhäsiv-Brücken (26%) und konventionelle Brücken (27%) zeigten vergleichbare Komplikationsraten. Die drei häufigsten Komplikationen bei Vollkeramikkrone waren Kronenfraktur (7%), Retentionsverlust (2%) und endodontische Behandlung (1%). Bei Adhäsivbrücken waren die drei häufigsten Komplikationen Dezementierung (21%), Zahnverfärbungen (18%) und Karies (7%) [43].

Während konventionelle Zemente einfach in der Handhabung sind, bieten adhäsive Harzzemente große Adhäsion und Ästhetik, was nach heutigem Standard bei der Zementierung vollkeramischer Restaurationen besonders wichtig ist [44]. Je nach Indikation können IPS e.max ZirPress Restaurationen laut Hersteller adhasiv, selbstadhasiv oder konventionell befestigt werden.

Konventionelle Befestigung

Da bei der konventionellen Befestigung der Halt fast nur durch Haftreibung zwischen Befestigungsmaterial und Restauration bzw. Präparation entsteht, ist für den Erhalt der nötigen Haftreibung eine retentive Präparation mit einem Winkel von 4°-6° zwingend.

Selbstadhäsive Befestigung

Durch selbststützende Eigenschaften des Befestigungsmaterials ist keine zusätzliche Vorbehandlung des Zahnes erforderlich. Der Halt wird zum Teil durch mikromechanischen bzw. chemischen Verbund erreicht. Auch hier ist, zur besseren Haftung, eine retentive Präparation empfohlen.

Adhäsive Befestigung

Auch hier entsteht der Halt durch Haftreibung, vorwiegend jedoch durch chemische bzw. mikromechanische Bindung zwischen Befestigungsmaterial und Restauration bzw. Präparation. Eine retentive Präparation ist aufgrund der chemischen bzw. mikromechanischen Bindung nicht notwendig. Der präparierte Zahn muss, abhängig vom Befestigungsmaterial, mit speziellen Adhäsiv-

EINLEITUNG

Systemen vorbehandelt werden, um den mikromechanischen Verbund an Dentin und Schmelz zu erhalten.

Im Gegensatz zur konventionellen und zur selbstadhäsiven Befestigung, die keine Erhöhung der „Festigkeit“ der vollkeramischen Restauration bewirken, wird bei der adhäsiven Befestigung eine Erhöhung der „Festigkeit“ der eingegliederten, vollkeramischen Restauration bewirkt. [40].

Vorbehandlung der Restauration

Verschiedene vorbereitende Schritte (Ätzen, Primern, Bonden), sowie die Trockenlegung sind notwendig, um Restaurationen adhäsiv erfolgreich zu befestigen. Nach einer Produktinformation von 3M™ ESPE™ zeigen sich die in Tabelle 2 beschriebenen Stärken und Schwächen bei dentalen Befestigungsmaterialien verglichen mit dem Hybridzement RelyX™ Unicem. Eine Befestigung mit Zinkoxidphosphatzement ist, im Gegensatz zur Auflistung, bei Zirkoniumdioxid-Gerüsten gut möglich. Adhäsive Harzzemente ermöglichen es dem Behandler eine Restauration selbst bei stark limitierter Retention zu befestigen, was ihm erlaubt sich einer minimalinvasiven Zahnmedizin immer mehr anzunähern. 3M™ ESPE™ gibt an bei Zirkonoxid-Keramiken entweder mit Aluminiumoxid (40µm) sandzustrahlen und dann mit Alkohol zu reinigen, oder zu silikatisieren und dann zu silanisieren. Nach einer Produktinformation von Ivoclar Vivadent® können IPS e.max ZirCAD-Kronen und –Brücken mit Aluminiumoxid bei max. 1 bar abgestrahlt, und müssen anschließend 60 sec mit Monobond® Plus konditioniert/silanisiert werden. Hochfeste Zirkoniumdioxid-Keramiken werden generell nicht mit Flusssäuregel (IPS Ceramic Ätzgel) angeätzt, da kein Ätzmuster entsteht.

Vorbehandlung der Zahnoberfläche

1. Die Präparation muß in jedem Fall gründlich gereinigt werden. Bei multilink geschieht dies mit öl- und fluoridfreier Reinigungspaste.
2. Anschließend mit öl- und wasserfreier Luft trocknen, nicht übertrocknen.
3. Farbwirkung, Passgenauigkeit und Okklusion prüfen, beschliffene Flächen müssen nachpoliert werden.

EINLEITUNG

4. Sichere Trockenlegung. Vorzugsweise mit Kofferdam. Alternativ mit Watterollen und Speichelzieher.
5. Multilink Primer A und B werden im Verhältnis 1:1 angemischt und mit einem Microbrush auf die gesamte Zahnoberfläche (30 sec auf Zahnschmelz, 15 sec auf Dentin) aufgetragen. Überschüsse werden so lange weggeblasen, bis kein beweglicher Flüssigkeitsfilm mehr sichtbar ist. Der Primer ist selbsthärtend.

Für RelyX unicem entfallen die Schritte 2 und 5.

EINLEITUNG

Tabelle 2 Stärken und Schwächen von gewöhnlich verwendeter Dentalzemente. Allgemeiner Überblick verschiedener Zementklassen

¹Glasionomerzement ²Bewertungen beziehen sich auf RelyX™ Unicem, ³Für manche Produkte ist eine Konditionierung empfohlen, ⁴Manche Produkte dieser Klasse beinhalten ein selbstätzendes Primer/Bonding-System, n/a=nicht anwendbar/ nicht empfohlen [44]

Zementklasse		Zinkphosphatzemente	Polycarboxylatzemente	GIZ ¹	Harzmodifizierte GIZ	Kompomere	Adhäsive Harzzemente	Selbst-Adhäsive Harzzemente ²
Eigenschaften								
Klebefestigkeit		•	•	••	••	••	•••	•••
Vorbereitende Schritte		—	—	— ³	—	Konditionierung	Ätzen ⁴ , Primer, Bonder	—
Indikation	Metall	•••	•••	•••	•••	••	•	•••
	Komposit	n/a	n/a	n/a	n/a	•	•••	•••
	Glaskeramik	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	•••	•••
	Hochleistungskeramik	n/a	n/a	••	••	•	•••	•••
Niedrige Solubilität		•	•	•	••	••	•••	•••
Mechanische Eigenschaften		•	•	••	••	••	•••	•••
Ästhetik		•	•	•	•	••	•••	•••

EINLEITUNG

1.8. Biologische Einflussgrößen und Variablen

1.8.1. Präparationsrichtlinien

Für Einzelkronen bis zu 3-gliedrigen Brücken beträgt die Reduktion des Kronendrittels – inzisal bzw. okklusal – min. 1,5mm. Im bukkalen bzw. im palatinalen/lingualen Bereich beträgt sie min. 1,2mm. Bei mehrgliedrigen Brücken beträgt die Reduktion des Kronendrittels min. 2mm, vestibulär bzw. palatinal/lingual min. 1,5mm (s. Abbildung 7). Verbinderstärken betragen konform zu Herstellerangaben zwischen 7mm² und 12mm². Der Radius der Kanten des präparierten Stumpfes, insbesondere bei Frontzähnen, beträgt min. 1mm (Schleifkörpergeometrie), um ein optimales Ausschleifen durch die CAD/CAM Einheit zu gewährleisten. Da die Mindestschichtstärke des Gerüsts je nach Lokalisation und Restaurationsart zwischen 0,5mm und 0,7mm betragen kann, ist eine sehr substanzschonende Präparation möglich (s. Tabelle 4; Seite 52). In einer in vitro Studie konnte Renne zeigen, dass die Präparationsqualität eine signifikante Auswirkung auf den Randspalt bei CAD/CAM-gefertigten Kronen hat [45].

EINLEITUNG

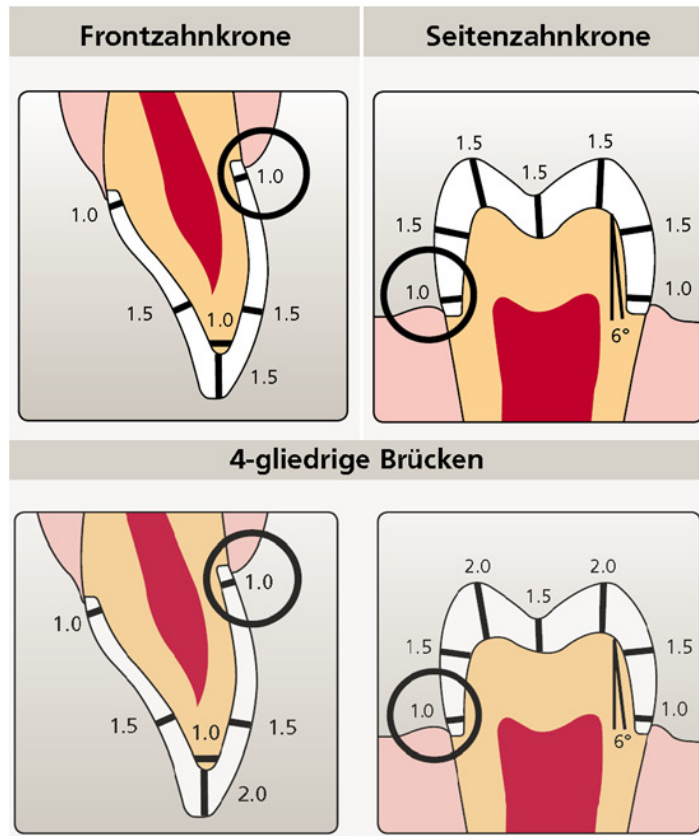


Abbildung 7 Herstellerangaben (Fa. Ivoclar Vivadent) zu Präparationsrichtlinien für IPS
 (IPS e.max Verarbeitungsanleitung)
 Für mehrgliedrige Brücken (oben) 1mm Radius der Kanten des präparierten Stumpfes (unten links) Stufenpräparation mit abgerundeter Innenkante und Hohlkehlpäparation (unten rechts)
 Quelle: [42]

1.8.2. Bleeding on probing (BoP)

Eine Blutung bei der Sondierung der Sulci ist ein Entzündungszeichen sowie ein Anzeichen für Attachmentverlust. Mittels dieser Blutungen lässt sich der Grad einer entzündlichen Parodontalerkrankung abschätzen [46]

Tabelle 3 Gradeinteilung BoP

Grad 0	Keine Blutung
Grad 1	Auftreten eines Blutungspunktes
Grad 2	Auftreten einer Blutungslinie
Grad 3	Starke Blutung

EINLEITUNG

1.8.3. Randpassung

Abgesehen von Bruchfestigkeit und Ästhetik werden Randpassung und innere Präzision der Krone als eine der wichtigsten Kriterien für die klinische Qualität und den Langzeiterfolg von Vollkeramikkrone angesehen [47-49]. Verstärkte Randungenaugigkeit einer Krone erhöht die Rate von Retentionsverlusten (Dezementierung) und Undichtigkeit [50]. Die schlechte Randpassung einer Krone erhöht die bakterielle Anhaftung [51, 52] und verändert die Zusammensetzung der subgingivalen Mikroflora [53] was schlussendlich zum Ausbruch parodontaler Erkrankung, und in letzter Konsequenz zum Zahnverlust führen kann [54]. Undichtigkeit kann zur Inflammation der vitalen Pulpa, sowie zu Sekundärkaries führen [46, 54-56].

1.8.4. Sekundärkaries

Die Sekundärkaries ist das Auftreten eines kariösen Defektes im Randbereich zahnärztlicher Restaurationen, der meist durch eine Spalt- oder Stufenbildung zwischen Restaurationsmaterial und Zahnhartsubstanz verursacht wird [57]. Die Sekundärkaries kann entweder iatrogen, durch unzureichende Passung des Kronenrandes sowie auch (nur und zusätzlich) durch mangelhafte Mundhygiene des Patienten verursacht werden.

1.8.5. Farbbeurteilung

Für ein ästhetisches Erscheinungsbild ist nicht nur das verwendete Material und die Form alleine zu berücksichtigen. Ein sehr wichtiger Teil ästhetischen Zahnersatzes ist die Farbgebung. Diese muss sich an den Nachbarzähnen und den Antagonisten orientieren, um dem Patienten im Idealfall das Gefühl geben zu können, schöne neue Zähne zu haben und nicht nur einen guten Zahnersatz.

EINLEITUNG

1.8.6. Endodontische Komplikationen

Nach durchschnittlich fünf Jahren konnte bei 4% überkronter, primär eindeutig pulpavitaler Zähne ohne auffälligen Parodontalbefund eine apikale Ostitis, nach zehn Jahren in 15% ein Vitalitätsverlust registriert werden. Vorerkrankungen des Zahnes und das Überkronungstrauma werden für die Nekrose der Pulpa verantwortlich gemacht [58]. Die Summe aller Traumata der zur Überkronung notwendigen Behandlungsschritte ist hierbei das Überkronungstrauma. Dazu zählen: Präparation, Abformung, provisorische Versorgung des Stumpfes sowie die Befestigung des definitiven Zahnersatzes. Generell kann man sagen: Je dicker die über der Pulpa verbleibende Dentinschicht ist, desto wirkungsvoller fungiert sie als Barriere gegen Noxen. Austrocknung und Überhitzung des Dentins müssen vermieden werden. Größere Hartsubstanzdefekte sind mit einer Aufbaufüllung zu versorgen, damit tiefe Dentinwunden während der Behandlung verschlossen sind [58].

Die genannten Komplikationen können sich durch Hypersensibilität, Dauerschmerz, Abszessbildung, Verlust der Sensibilität und Aufbisschmerz durch apikale Parodontitis äußern.

Die endodontische Komplikation verlangt nach einer unverzüglichen Behandlung, da dann die Prognose für den Erhalt des Zahnes besser ist.

Daher ist die Prüfung der endodontischen Gesundheit notwendiger Bestandteil einer Routineuntersuchung nach prothetischer Behandlung. Zu den speziellen endodontischen Untersuchungen gehören die Palpation, Perkussion, Prüfung der Zahnbeweglichkeit, Sondierung des Parodonts, Sensibilitätstest und ggf. Röntgenuntersuchung. Der Perkussionstest und der Sensibilitätstest sind von den genannten Tests die wichtigsten Maßnahmen.

EINLEITUNG

Entsprechend den o.g. Symptomen kommen folgende Techniken zur Anwendung:

1. Klinische Untersuchung, Anamnese, v.a. Befragung nach Schmerzen
2. Perkussionstest
3. Sensibilitätstest auf Kälte z.B. mit Kohlendioxid-Schnee
4. radiologische Untersuchung mittels Zahnfilm oder Orthopanthogramm

1. Klinische Untersuchung / Anamnese / Befragung nach Schmerzen

Die klinische Untersuchung umfasst eine Begutachtung der Schleimhäute, der Zähne, des Parodonts, der Mundhygiene, der Qualität und Quantität von Restaurationen, Schwellungen und Fisteln.

Abschließend wird der Patient nach Auftreten (wann und wo traten sie das erste Mal auf), Schmerzauslösung (Kälte, Wärme, spontan), Dauer und Qualität (hell, dumpf, pulsierend) der Schmerzen, sowie deren Lokalisierbarkeit befragt. [57].

2. Perkussionstest

Zur Abgrenzung und Diagnose einer apikalen Parodontitis ist der Perkussionstest wichtig. Mit dem Griff eines zahnärztlichen Instrumentes wird durch Abklopfen der Zähne die Perkussionsempfindlichkeit geprüft. Das Beklopfen der Kaufläche wird als vertikale, das Beklopfen der Seitenflächen als horizontale Perkussion bezeichnet. Zum Vergleich sollten die Nachbarzähne ebenfalls untersucht werden. Differentialdiagnostisch können auch gelockerte Füllungen, ein desmodontales Trauma oder vertikale Zahnfrakturen zu positiven Resultaten führen [57].

EINLEITUNG

3. Sensibilitätstest

Die Sensibilitätsprüfung ist prinzipiell auf zwei Arten möglich. Durch elektrischen Strom oder thermische Reize, wobei thermische Reize durch Kälte- oder Wärmetests ausgelöst werden können. Die hydrodynamische Theorie der Reizentstehung nach Brännström [59] beruht auf der Annahme, dass Flüssigkeitsbewegungen in den Dentintubuli, die durch thermische Reizung ausgelöst werden, bedingt durch den unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Flüssigkeiten und des Dentins, zur Reizung der A-Fasern führt. Die Kälte sollte nach Möglichkeit an pulpanahen Stellen appliziert werden. Bei korrekter Durchführung kommt es an der Pulpa-Dentin-Grenze zu einer Temperaturveränderung von ca. 2,5°C, welche vom Patienten wahrgenommen und geäußert wird. Diese Sensibilität ist ein Surrogatparameter für die Vitalität des Zahnes. Im Falle eines devitalen Zahnes kommt es zu keiner Reaktion auf elektrische oder thermische Reize [58].

4. Radiologische Untersuchungen

Ist durch o.g. Untersuchungen eine abschließende Diagnose einer apikale Parodontitis nicht möglich, kann eine radiologische Abklärung notwendig werden. Hierbei kann das Röntgenbild folgende Informationen liefern. Kariöse Defekte der Zahnhartsubstanz und deren Ausdehnung, ungefähre Zahnlänge, Anatomie der Wurzeln und deren Kanäle. Des Weiteren kann eine apikale Parodontitis als meist kreisrunde Aufhellung am Apex der Wurzeln des Zahnes sichtbar gemacht werden. Als positiven Befund wertet man eine Konfiguration vom Grad 3, 4 und 5 nach Ørstavik [53].

Radiologische Untersuchungen erlauben zusätzlich eine Beurteilung der Knochenfassung des Zahnes. Im Verlauf auftretender, zirkulärer oder auch nur begrenzter Verlust der Knochenfassung kann Hinweis auf ggf. durch die Restauration bedingte Parodontalerkrankung sein [46, 60].

EINLEITUNG

1.9. (Miss-)erfolgsbewertung

Der Erfolg einer prothetischen Restauration zeichnet sich nach dem Einsetzen in den Mund durch anhaltende Form und Farbstabilität sowie Integrität an der Zahnhartsubstanz und umliegenden Weichgewebe (fixierte & bewegliche Gingiva) aus. Außerdem sollte die Funktion und Struktur des Zahnes durch die Restauration nicht beeinträchtigt werden.

Dieser Erfolg wird kompromittiert von Ereignissen, die als Komplikationen bezeichnet werden:

1. Technische Komplikationen, also Veränderungen von Farbe, Form oder Integrität der Restauration
2. Biologische Komplikationen, also Veränderungen in Funktion und Struktur des versorgten Zahnes

1.9.1 Technische Komplikationen

Zu technischen Komplikationen zählen Risse, Abplatzungen, Frakturen und Farbveränderungen der Restaurationen.

Der Anstieg von Berichten aus klinischen Studien über Keramikabplatzungen hat die Frage aufgeworfen, welche Kriterien zugrunde gelegt werden sollten, um über technischen Erfolg oder Misserfolg einer Vollkeramikrestauration zu entscheiden. Bezeichnungen wie "minor chipping" (geringfügige Abplatzung) [61], "partial chipping" (Teilabplatzung), "technical complications" (technische Komplikation) [55, 62] 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. Zwei Arten von Statistiken werden routinemäßig in diesen Studien aufgeführt: Die Erfolgswahrscheinlichkeit, welche ein Maß für Restaurationen ist, die ohne jegliche Beeinträchtigungen überleben. Und die Überlebenswahrscheinlichkeit, welche ein Maß ist für alle Restaurationen die überlebt haben, auch wenn es zu einer Abplatzung kam oder sie repariert wurden. Die Entwicklung der Terminologie ergibt sich möglicherweise dadurch, dass diese Art von Fraktur eine sehr kleine ist und die Funktion und Ästhetik

EINLEITUNG

nicht beeinträchtigen. Daher muß man präziser in unserer wissenschaftlichen Beobachtung von Frakturen und deren Klassifikation sein, um die verschiedenen Arten der Frakturen zusammen mit ihrer Lokalisation und dem Design des Zahnersatzes einordnen zu können [63]. Anusavice empfiehlt weiter, das von Heintze und Rousson aufgestellte Klassifikationssystem zur Bearbeitung von Chippings zu benutzen, wenn es um die Beobachtung der Frakturanfälligkeit von Keramikrestorationen geht. Hier werden Abplatzungen in drei Grade eingeteilt:

- Grad 1 kleine Verblendabplatzung, die durch Politur behoben werden kann
- Grad 2 moderate Verblendabplatzung, die mit Composite repariert wird
- Grad 3 schwerwiegende Verblendabplatzung mit Neuanfertigung [64].

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

Zu den absoluten Misserfolgen (Grad 3) zählen solche, die eine Entfernung der Restauration notwendig machen oder beinhalten und somit eine Neuanfertigung nach sich ziehen. Darunter fällt vorwiegend eine Abplatzung, die zum Verlust der anatomischen Struktur des Zahnes (Äquator, Approximalkontakt, Höcker-Relief) führt.

Zu den relativen Misserfolgen (Grad 1 und 2) sind solche zu zählen, die zwar eine Beschädigung der Restauration beinhalten, aber keine Neuanfertigung nach sich ziehen. Man kann die technischen Misserfolge also wie folgt einteilen:

EINLEITUNG

Absolute Misserfolge

- Gerüstfraktur
- Randfraktur
- Keramikabplatzung Grad 3 = Verlust der anatomischen Struktur des Zahnes
- schwerwiegende farbliche Fehlpassung in Zahnreihe und Dentition mit Neuanfertigung
- Mehrfacher Retentionsverlust mit daraus abzuleitendem Neuanfertigungsbedarf
- objektivierbarer Wunsch des Patienten zur Neuanfertigung

Relative Misserfolge

- Keramikabplatzung der Grade 1 und 2
- klinisch und vom Patienten akzeptierte Verfärbungen der Restauration
- einmaliger oder seltener Retentionsverlust

1.9.2. Biologische Komplikationen

Diese Komplikationen umfassen Zähne mit endodontischem Behandlungsbedarf (Hypersensibilität, apikale Parodontitis), eine Kariestherapie mit Bezug zur Restauration oder parodontale Erkrankungen sowie auch eine Bewegung des Zahnes aus der Zahnreihe heraus. Biologische Komplikationen können wie technische Komplikationen nicht zwangsläufig als absoluter Misserfolg gewertet werden. Sie werden wie folgt eingeteilt:

Absolute Misserfolge

- parodontale Erkrankungen die zur Extraktion führt
- Verlust der anatomischen Struktur durch Wurzelkanalbehandlung oder Kariestherapie
- Zahnverlust nach Wurzelkanalbehandlung
- Zahnwanderung mit funktioneller Einschränkung (z.B. Verlust Approximalkontakt)

EINLEITUNG

Relative Misserfolge

- Wurzelkanalbehandlung ohne Verlust der anatomischen Struktur (geringe okklusale Trepanationsöffnung)
- Kariestherapie
- Zahnwanderung ohne funktionelle/ ästhetische Einschränkungen
- Lokalisierte Entzündung der Gingiva propria (Gingivitis, Parodontitis)

Relative Misserfolge durch endodontische Maßnahmen führen unweigerlich zur (technischen) Schwächung der Konstruktion. Daher folgt diesen ein u.U. absoluter technischer Misserfolg.

1.10. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Seit über 30 Jahren werden Patienten der Abteilung für zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik und Sektion „Medizinische Werkstoffkunde und Technologie“ des ZZMK Tübingen mit feststehendem Zahnersatz auf Basis keramischer Materialien (Vollkeramikrestorationen) versorgt. Dies erfolgt durch die Mitarbeiter/innen der Abteilung nach den jeweils aktuellen Erkenntnissen der Forschung und Wissenschaft nach Standard-Arbeitsanweisungen.

Dabei kam auch das System e.max ZirCAD bei der Therapie von Patienten in den Indikationen „Einzelkronen“ und „Brücken“ zum Einsatz.

Um die Evidenz der klinischen Bewährung von zirkoniumdioxidbasierten Vollkeramikrestorationen im Allgemeinen und des Systems e.max ZirCAD in adhäsiver Befestigung im Speziellen zu basieren, werden die klinischen Daten des Qualitätssicherungs-Registers Vollkeramik ausgewertet und im Kontext publizierter Evidenz betrachtet.

Arbeitshypothese ist dabei, dass sich e.max ZirCAD Kronen und Brücken in Ihrer klinischen Bewährung (Auftreten von Komplikationen, Misserfolg und Überleben) nicht von anderen Systemen gängiger zirkoniumdioxidbasierten Kronen und Brücken unterscheiden.

MATERIAL UND METHODE

2. Material und Methode

2.1. Patienten

Im Rahmen der Patientenversorgung an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen werden regelmäßig seit Anfang der 1990er Jahre Vollkeramikrestaurationen eingesetzt. Durch die Vielfalt an Therapieoptionen mit Vollkeramik sind Entscheidungspfade und Standardarbeitsanweisungen für die Versorgung entwickelt worden. Da es nach Eingliederung im Laufe der Tragezeit, wie in der Einleitung beschrieben, häufiger zu Komplikationen der Restaurationen kommen kann, wird den Patienten mit vollkeramischen Versorgungen am ZZMK eine regelmäßige Nachuntersuchung angeboten. Diese Nachuntersuchungen finden, gemäß der Richtlinien der gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV), im Rahmen der Jahreskontrolle oder Vorsorgeuntersuchung statt. Besonders die vollkeramischen Restaurationen werden zusätzlich non-invasiv einer Sichtprüfung nach standardisierten Kriterien unterzogen (s. Kapitel 2.3. Nachuntersuchung der Restaurationen; *Seite 53*)

Deshalb wird für jede Versorgung nach der definitiven Befestigung ein Einsetzbogen ausgefüllt, in dem das Material der Versorgung, das Einsetzmaterial und das Einsetzdatum dokumentiert werden. Daraufhin bekommt jeder Patient eine materialbezogene Identifikationsnummer.

2.2. Prothetische Behandlung

Alle Patienten werden – entsprechend gesetzlichen Vorgaben und bei objektivem Bedarf - vor dem Beginn der eigentlichen Zahnersatzbehandlung konservierend und parodontal lege artis „vorbehandelt“. Pfeilerzähne die eine Kavität nach Füllungs- oder Kariesentfernung aufwiesen werden nach Abteilungsstandard grundsätzlich mit Kernaufbauten auf Basis des Lanthan-verstärkten Komposits TiCore natural (Fa. Essental Dental Systems, Inc., South Hackensack, USA) in Adhäsivtechnik (ClearFil, Kuraray) durchgeführt.

MATERIAL UND METHODE

Wenn eine Wurzelfüllung des Zahnes vorlag wurde – bei geplanter Vollkermamischer Versorgung - grundsätzlich ein Keramikstift adhäsiv eingesetzt. Die Wurzelfüllung sollte zu diesem Zeitpunkt mindestens 6 Monate symptomfrei sein.

Abteilungsstandard war dabei das System Cosmopost (Fa. Ivoclar vivadent GmbH). In diesem Fall wurde ggf. abweichend als Kernaufbaumaterial Tetric EvoCeram (Fa. Ivoclar vivadent GmbH) verwendet.

Die prothetische Behandlung beginnt durch die Präparation der Pfeilerzähne nach den Präparationsrichtlinien für Vollkeramikronen (s. Tabelle 4; Seite 52). Hierbei beachtet man die Herstellerangaben des CAD/CAM-Systems bezüglich der Stumpfgeometrie.

Vor Abformung der präparierten Stümpfe im Kiefer legt man um diese mit Racestypine (Fa. Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Frankreich) getränkte Retraktionsfäden. Diese werden ca. zehn Minuten im Sulcus belassen. Die Abformung der Stümpfe erfolgt mit einem individualisierten Rimlock Löffel in einzeitiger Doppelmisch-Technik unter relativer Trockenlegung. Dafür verwendete Abformmaterialien sind die Polyether Impregum Penta und Permadyne Garant 1:2 (beide Fa. 3M ESPE, Seefeld) im Kartuschensystem mit Mischkanülen. Der Gegenkiefer wird, sofern keine präparierten Pfeiler existieren, mit Alginat ebenfalls mittels Rimlock-Löffel abgeformt, mit Vel-Mix Stone (Fa. Kerr/SDS, Orange (CA), USA) ausgegossen und unter Zuhilfenahme der Bissnahme mit Snow White (Fa. Kerr/SDS, Orange (CA), USA) einartikuliert. Die Kieferrelationsbestimmung erfolgt entweder mit dem Silikon Futar D (Fa. Kettenbach GmbH & Co. KG, Eschenburg) oder mittels thermoplastischen Compound Kerr Stangen braun (Fa. Kerr/SDS, Orange (CA), Vereinigte Staaten).

Für die Anfertigungszeit im Labor wird der Zahn mit einem Provisorium aus Protemp 4 (Fa. 3M ESPE, Seefeld) versorgt, welches am Behandlungsstuhl mittels Tiefziehfolie vom Zahnarzt gefertigt und eingegliedert wird. Mit Blick auf die geplante adhäsive Befestigung werden die Provisorien mit TempBond-NE

MATERIAL UND METHODE

(Fa. Kerr/SDS, Orange (CA), Vereinigte Staaten), einem eugenolfreien Zement, befestigt.

Bei allen in der Studie verwendeten Arbeiten wurden die Gerüste im hauseigenen Labor der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik und Sektion „Medizinische Werkstoffkunde und Technologie“ des ZZMK Tübingen hergestellt und verblendet.

Mittels der Präzisionsabformung wurde ein Sägeschnittmodell aus Spezial-Stumpfgips für die CAD/CAM-Technik nach ISO 6873, Typ 4 (esthetic-base[®] gold; Fa. Dentona AG, Dortmund, Deutschland) hergestellt. Das fertige Sägemodell wird mit dem Sirona Scanner inEos 3 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland) abgescannt. Hierauf erfolgt die Gestaltung des Gerüstes am Computer mit 3Shape (Fa. 3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark). Dabei wurde auf die anatomische Höckerunterstützung geachtet [65, 66]. Ziel dabei ist es, ein gleichmäßiges Platzangebot für die Verblendkeramik zu schaffen und Mindestschichtstärken nicht zu unterschreiten (s. Kapitel 1.5.2. Konstruktion der Restauration /Datenverarbeitung; Seite 30). Die Verarbeitung der IPS e.max ZirCAD Rohlinge erfolgte mit dem inLab System von Sirona.

Nach dem CAM Prozess wurde das Ergebnis auf Unebenheiten oder scharfe Kanten geprüft. Diese konnten zu diesem Zeitpunkt am noch vorgesinterten Grünkörper einfach bearbeitet resp. beseitigt werden.

Der geschliffene Grünling erhielt seine abschließende Sinterung bei ca. 1400 °C im Ofen Zyrcomat (Fa. Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen).

Gerüste werden vor Verblendung mit der Silikatkeramik klinisch am Patienten einprobiert. Kontrolliert wird: Passung der Ränder, Platzangebot zum Gegenkiefer, spannungs- und spielfreier Sitz auf den Pfeilern.

Abschließend verblendet wurde das Keramikgerüst mit IPS e.max Ceram. Dies ist eine niedrigschmelzende Nano-Fluor-Apatit Glaskeramik.

Durch die Anpassung der WAK von IPS e.max Ceram ($9,5 \cdot 10^{-6}/K$) und IPS e.max ZirCAD ($10,8 \cdot 10^{-6}/K$) sind beide Materialien optimal aufeinander abgestimmt. Vorbereitung und Schichtung auf die Gerüste erfolgte nach Herstellerangaben. Die Schichtstärke der Verblendung betrug maximal 2,5mm.

MATERIAL UND METHODE

Die notwendigen Brände bis zum abschließenden Glanzbrand erfolgten im Ofen Programat X1 (Fa. Sirona Dental GmbH, Salzburg, Österreich) mit dem gem. Herstellerangabe gespeicherten Programm zur Brandführung.

Die fertige Restauration wird klinisch erneut auf Randpassung, die Approximalkontakte sowie Okklusion überprüft. Bei Bedarf werden Approximalkontakte, statische und dynamische Okklusion entweder unter Wasserkühlung mit einem gelb - beringten Diamanten und (oder nur) mit einem grauem Polierer eingeschliffen. Im entgegengesetzten Falle wird im Labor fehlende Substanz durch erneutes Auftragen und Brennen der Verblendkeramik angefügt.

Vor dem Eingliedern der Restauration wurden Approximalkontakte mittels Zahnseide, Randschluss mittels Sonde und Okklusion mittels Artikulationspapier (12µm, Fa. roeko, Langenau) und ShimStock (8µm, Fa. roeko, Langenau) geprüft. Die Restaurationen werden bei Passung und Zustimmung des Patienten (Farbe und Form) mit dem System multilink (Fa. Ivoclar Vivadent) nach Herstellerangaben eingesetzt [67]. Eine Abweichung davon ist dem Behandler erlaubt, wenn für ihn keine sichere Anwendung des Adhäsivsystems möglich ist. In diesem Fall wurde selbst-adhäsiver Hybridzement RelyX Unicem (Fa. 3M Espe) verwendet.

Dabei erhält die mit Alkohol gereinigte und getrocknete Innenfläche der Restaurationen eine Konditionierung des Zirkoniumdioxids mittels Monobond plus.

Die Zahnoberflächen werden unter Anästhesie mit fluoridfreier Bimsmehl-Wasser-Paste mittels rotierender Bürstchen gereinigt, mit Wasser abgespült und anschließend getrocknet.

Es folgt eine sog. „relative Trockenlegung“ und der Auftrag des vermischten A+B Primers auf die Zahnoberfläche mit Trocknung nach 30 Sekunden.

Abschließend wurden nochmals Approximalkontakte, Randschluss und Okklusion beurteilt.

MATERIAL UND METHODE

Tabelle 4 Mindestschichtstärken für IPS e.max ZirCAD Gerüste nach Herstellerangaben.

Diese Parameter wurden bei der Herstellung der Gerüste im Zahntechnischen Labor eingehalten. Wichtig war dabei, dass für die Gewährung der Schichtstärken entsprechender Abtrag in der Präparation (s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) erfolgte.

Frontzahnbereich		Kronen	Verblockte Kronen	3-gliedrige Brücken	4-12-gliedrige Brücken mit zwei Zwischengliedern	Freiendbrücken mit einem Anhänger
Gerüstmindeststärke	zirkulär	0,5mm	0,5mm	0,5mm	0,7mm	0,7mm
	inzisal	0,7mm	0,7mm	0,7mm	1,0mm	1,0mm
Verbinderstärke		-	7mm ²	7mm ²	9mm ²	12mm ²
Gestaltungsart		Zahnform bzw. Gingiva unterstützend (inzisal, okklusal bzw. basal)				

Frontzahnbereich		Kronen	Verblockte Kronen	3-gliedrige Brücken	4-12-gliedrige Brücken mit zwei Zwischengliedern	Freiendbrücken mit einem Anhänger
Gerüstmindeststärke	zirkulär	0,5mm	0,5mm	0,5mm	0,7mm	0,7mm
	okklusal	0,7mm	0,7mm	0,7mm	1,0mm	1,0mm
Verbinderstärke		-	9mm ²	9mm ²	12mm ²	12mm ²
Gestaltungsart		Zahnform bzw. Gingiva unterstützend (inzisal, okklusal bzw. basal)				

MATERIAL UND METHODE

2.3. Nachuntersuchung der Restaurationen

Bei der ersten Nachuntersuchung wird für jeden Patienten ein Case Report Form (CRF) zur Erfassung aller Daten aus Befund und klinischer Untersuchung erstellt.

Die Untersuchung teilt sich in zwei obligate und einen optionalen Teil:

1. Routineuntersuchungen im Rahmen der gesetzlichen Krankenversicherung
2. Die non-invasive Qualitätsbewertung der Restaurationen
3. Optionale Zusatzuntersuchungen zur Diagnostik unter 1./2. festgestellter Probleme.

Ad 1. Der zahnärztliche Befund

Dieser wird erhoben entsprechend der Leistungsziffer 01 / Bema: „Eingehende Untersuchung zur Feststellung von Zahn-, Mund- und Kiefererkrankungen einschließlich Beratung“. Allgemein gesprochen wird dabei auf ggf. pathologische Veränderungen der Mundschleimhaut (z.B. Leukoplakien, Schwellungen) und Dentition (z.B. kariöse Läsionen, Zahnwanderungen) geprüft.

Eingeschlossen ist die abschließende Perkussionstestung in axialer Richtung mit Hilfe des Sondengriffes auf alle Zähne zur Feststellung von Schmerzreizen (s. Seite 43 Radiologische Untersuchungen). Vergleich sind die jeweiligen Nachbarzähne. Überempfindlichkeit eines Zahnes wird dann als positiv (+) dokumentiert, wenn der Patient Schmerzen angibt. Waren die Zähne un- bzw. gleichempfindlich, wird dies als negative Perkussionsempfindlichkeit (-) festgehalten.

Weiter wird eine Sensibilitätsprüfung aller Zähne mit Kohlendioxid durchgeführt. Positive (+) Werte werden durch Rückmeldung einer Kälteempfindung des Patienten binnen 10 Sekunden am getesteten Zahn vermerkt. Andernfalls wurde der Zahn mit negativer (-) Sensibilität dokumentiert.

MATERIAL UND METHODE

Wenn ein Sensibilitäts-negativ getesteter Zahn keine Wurzelkanalbehandlung im Röntgenbild aufweist, wird eine Zusatzuntersuchung z.B. durch einen Zahnfilm notwendig.

Es ist zu erwähnen, dass der Verlust der Vitalität nicht zwangsläufig als Misserfolg, sondern nach den Kriterien in Kapitel 1.9. (Miss-)erfolgsbewertung (*Seite 44*) bewertet wurde.

Die Erfassung der parodontalen Befunde (s. Kapitel 1.8.2. Bleeding on probing (BoP); *Seite 39*) erfolgte Quadranten weise. Die Sulkus-Sondierungstiefen (SST) ermittelte man jeweils distal und mesial des Zahnes mit dem drucksensitiven WHO Parodontometer (Fa. Aesculap, Tuttlingen) bei definiertem Anschlag von 0,2N (20g) (s. Abbildung 8; *Seite 55*). Es lag im Ermessen des Untersuchers auch an weiteren Stellen des Zahnes Messungen vorzunehmen. Maßgeblich war der höchste gemessene Wert in mm. Die Zuordnung erfolgte durch enge Lagebeziehung zu mesial oder distal.

Nach Messung der SST im gesamten Quadranten wurde der Grad der Blutungsneigung (BoP) an den Messstellen notiert (s. Kapitel 1.8.2. Bleeding on probing (BoP); *Seite 39*).

Ad 2. Die Qualitätsbewertung der Restauration

Die eingehende Sichtprüfung, ggf. mit Sehhilfen, richtet sich auf technische und biologische Frühschäden der Restauration oder eine bereits eingetretene Schädigung von Restauration und/oder Pfeilerzahn (s. Kapitel 1.9. (Miss-)erfolgsbewertung; *Seite 44*).

Diese Untersuchung folgt den objektivierbaren Kriterien der California Dental Association [52, 68]. Zuvorderst werden die „unerwünschten Ereignisse“ Dezementierung, Risse, Chip-offs, Verblend- und Gerüstfrakturen ausgeschlossen bzw. beurteilt. Daraufhin wird die Lage des vestibulären Kronenrandes betrachtet, wobei man zwischen sub-, para- und supragingival unterscheidet. Bei sub- und supragingivaler Lage wird nochmals in drei Stufen eingeteilt, bis 1mm, zwischen 1mm und 2mm und über 2mm. Dabei wird

MATERIAL UND METHODE

zusätzlich der Kronenrand zirkulär mit einer Kuhhornsonde (s. Abbildung 8; Seite 55) auf Sondierbarkeit oder Tastbarkeit geprüft. Bei sondierbarem Kronenrand erfolgt die Prüfung auf offen liegendes Dentin oder einem Ausbrechen/ Auswaschen bzw. Substanzverlust. Hiernach wird zusätzlich der Rand auf kariöse Läsionen untersucht

Die Sichtprüfung auf Randverfärbungen beinhaltet bei Vorliegen auch den Test auf eine mögliche Entfernbarekeit dieser. Erweitertes Kriterium bei Vorliegen einer Verfärbung ist, ob diese Verfärbung in die Tiefe – also unter die Konstruktion bzw. in die Zahnhartsubstanz eindringt.

Abschließend beurteilt der Untersucher einen möglichen Farbunterschied der Restauration. Dieses subjektive Kriterium wird objektiviert durch die harmonische Eingliederung in die Zahnreihe sowie dem Unterschied zu den jeweiligen Nachbarzähnen.

Ist ein solcher erkennbar, beurteilt man die Gravität. Alle Kriterien ergeben eine abschließende Bewertung der Konstruktionseinheit nach dem sog. CDA-Schema. Maßgabe hierbei ist immer die schlechteste Bewertung eines Kriteriums.

Zur Dokumentation der Befunde werden die untersuchten Konstruktionen zusätzlich fotografiert.



**Abbildung 8 Drucksensitiver Parodontometer mit definiertem Anschlag bei 0,2 N (20g)
rechts. Kuhhornsonde links**

MATERIAL UND METHODE

2.4. Datenerfassung

Den Patienten mit vollkeramischen Versorgungen wird eine freiwillige und regelmäßige Nachkontrolle des Zahnersatzes angeboten. Diese Nachuntersuchungen finden im Rahmen der Jahreskontrolle oder Vorsorgeuntersuchung statt. Vollkeramischer Zahnersatz erhält eine eingehende Sichtprüfung, ggf. mit Sehhilfen, um Frühschäden zu erkennen.

Eine solche Nachuntersuchung umfasst:

- Die Routine-Kontrolluntersuchung mit zahnärztlichem Befund und Hygienestatus, welche aus den Vorsorgeuntersuchungen übernommen werden.
- Die Frage nach Zufriedenheit und Problemen mit der Versorgung (Aufbisschmerzen, Missempfindungen)
- Die Sichtprüfung der Restauration(en)

Sämtliche Befunde und unerwünschten Ereignisse werden als ärztliche Dokumentation in der Patientenkarte festgehalten, und zusätzlich, insb. das Auftreten und Nichtauftreten von Ereignissen an vollkeramischen Restaurationen, im Qualitätssicherungsregister „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 Qualitätssicherungsregister „Vollkeramik“ können frühzeitige Probleme mit Versorgungsformen und Materialien erkannt werden.

MATERIAL UND METHODE

2.5. Variablen

Die klinischen Daten der Patienten mit der ID maxZC-XXX aus dem Qualitätssicherungs-Register „Vollkeramik“ werden zur Auswertung in Tabellen der Statistiksoftware JMP 10 (SAS Institute GmbH, Heidelberg) eingegeben und ausgewertet.

2.5.1 Hilfsvariablen

Die Konstruktionsnummer eines Patienten ist so hoch wie die Anzahl der eingegliederten Restaurationen des Systems in diesem Patienten. Dabei werden die Konstruktionsnummern in der Reihenfolge des FDI-Zahnschemas vom ersten zum vierten Quadranten von 1 aufsteigend vergeben (s. Tabelle 5).

Tabelle 5 Beispiel über die Vergabe der Konstruktionsnummer: Patient maxZC-002 hat 5 Konstruktionen erhalten: 3 Brücken an 17-15, 35-37, 45-48, eine Anhängenbrücke 25 an 26/27, sowie eine Krone 23.

Konstruktionsnummer		1	1	1							2		3	3	3	
Status	→	K	B	K	→				→		K	B		K	K	↓
FDI-Code	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
Status	K	B	B	K	←				←		K		B	K	←	
Konstruktionsnummer	5	5	5	5									4	4	4	

Konstruktionsnummern & Randomisierung

Jede Konstruktion eines Patienten erhält eine Konstruktionsnummer – aufsteigend von 1 beginnend. Die höchste Konstruktionsnummer eines Patienten entspricht der Anzahl der eingegliederten Restaurationen. Dabei werden die Konstruktionsnummern in der Reihenfolge des FDI-Zahnschemas vom ersten zum vierten Quadranten von 1 aufsteigend vergeben (s. Tabelle 5). Für die statistischen Auswertung wird eine Krone und/oder Brücke des Patienten randomisiert ausgewählt. Die Randomisierung erfolgt automatisiert durch einen Dritten: Dabei wird einmalig mit der „random-integer“-Funktion der Statistiksoftware JMP10 eine Konstruktionsnummer ausgewählt und damit eine neue Kohorte generiert. (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7 auf Seite 61)

MATERIAL UND METHODE

2.5.2. Sozio-demographische Variablen

Als sozio-demographische Variablen stehen das Geburtsdatum, das Alter und das Geschlecht der Patienten zur Verfügung.

2.5.3. Restaurationsspezifische Variablen – Konstruktionsschlüssel

Als restaurationsspezifische Variablen werden der FDI-Code (Fédération Dentaire Internationale) des restaurierten Zahnes, das Einsetzdatum, die Therapienummer (Ersttherapie, Folgetherapie), die Konstruktionsform (Krone, Brückenglied, Pontic) sowie Daten eines Vergleichszahnes dokumentiert.

Der Konstruktionsschlüssel ergibt sich aus:

„Patienten-ID -- FDI-Code der Pfeilerzähne – Therapienummer“

und ist dadurch ein-eindeutig.

2.5.4. Ereignisvariablen

Als Ergebnisvariablen werden das Komplikationsdatum, sowie AE (adverse Event) und SAE (serious adverse Event) dokumentiert. AE und SAE werden jeweils in biologische bzw. technische, sowie in relevante bzw. nicht relevante Ereignisse unterteilt. Hier wird auch die Unterscheidung Misserfolg oder Komplikation getroffen (s. Kapitel 1.9. (Miss-)erfolgsbewertung; *Seite 44*).

2.5.5. Qualitätsvariablen

Als Qualitätsvariablen werden die CDA Rankings, modifiziert nach Ryge (s. Abbildung 9), erhoben [52, 68]. Schrittweise werden Qualität des Randes, Randkaries, Randverfärbungen und Farbunterschiede untersucht (s. Kapitel 2.3. Nachuntersuchung der Restaurationen; *Seite 53*).

Zusätzlich werden SST und BoP Messungen an dem Pfeiler- und Referenzzahn als Qualitätsvariable betrachtet. Die Erhebung geschah zu unterschiedlichen Nachuntersuchungsterminen. Als Referenzzahn wurde grundsätzlich der gleiche Zahn der Gegenseite genommen: also für z.B. Zahn 32 der Referenzzahn 42. War dieser nicht vorhanden, wurde stattdessen ein gleicher Nachbarzahn genommen: also z.B. anstatt Zahn 44 Zahn 45. Eine Abweichung von mehr als 1mm SST sowie 1 Grad der Blutung zwischen Restauration und

MATERIAL UND METHODE

Kontrollzahn werden als klinisch relevante Abweichung angesehen.

Color match	
Oscar (O)	Anterior restoration, invisible without a mirror
Alfa (A)	Posterior restoration, matching the adjacent tooth in color, shade and translucency
Bravo (B)	Posterior restoration, the mismatch in color, shade and translucency between the restoration and the adjacent tooth within normal range
Charlie (C)	Posterior restoration, the mismatch in color, shade and translucency between the restoration and the adjacent tooth outside normal range
Cavo-surface marginal discoloration	
Alfa (A)	No discoloration anywhere on the margin between the restoration and the tooth
Bravo (B)	Discoloration present but does not penetrate along the margin toward the pulp
Charlie (C)	Discoloration present and penetrates along the margin toward the pulp
Anatomic form	
Alfa (A)	Restoration continuous with existing anatomic form
Bravo (B)	Restoration under-contoured i.e. discontinuous with existing anatomic form but dentin/base not exposed
Charlie (C)	Restoration under-contoured i.e. discontinuous with existing anatomic form and dentin/base exposed
Marginal adaptation	
Alfa (A)	No visible evidence of a crevice along the margin into which an explorer penetrates
Bravo (B)	Visible evidence of a crevice along the margin into which an explorer penetrates, but dentin/base not exposed
Charlie (C)	Visible crevice along the margin with exposed dentin/base but the restoration is not mobile, fractured or missing in part of the tooth
Delta (D)	Restoration mobile, fractured or missing in part of the tooth
Caries	
Alfa (A)	Caries absent along the restoration margin
Bravo (B)	Caries present along the restoration margin

Abbildung 9 Originalkriterien nach Cvar und Ryge zur Beurteilung nicht-metallischer Restaurationen. Quelle: <http://dental-materials.blogspot.de/2010/12/clinical-evaluation-of-dental.html>

MATERIAL UND METHODE

2.5.6. Zeitbasierte Variablen

Die Beobachtungszeit ist die Zeit zwischen dem Einsetzdatum und dem letzten Beobachtung (Datum der letzten Nachuntersuchung oder der Entfernung der Restauration). Für die Ereigniszeitanalyse zensieren Ereignisvariablen diese Beobachtungszeit. Ereignisse der Klassifikation „Komplikation“ oder „Misserfolg“ zensieren die Komplikationsrate und Ereignisse der Klassifikation „Misserfolg“ zensieren die Erfolgsrate.

MATERIAL UND METHODE

Tabelle 6 Randomisierte Auswahl der Kronen. 17 Patienten wurden mit Kronen versorgt. Eine randomisierte Auswahl ergab die in der Tabelle aufgeführten 17 Konstruktionen. Es waren 12 posteriore und 5 anteriore.

Patientencode	Anzahl der Konstruktionen	Randomisierte Konstruktionsnummer	Art der Versorgung
maxZC-002	1	1	23
maxZC-003	4	2	16
maxZC-006	13	4	11
maxZC-007	5	5	47
maxZC-009	1	1	32
maxZC-010	1	1	24
maxZC-011	1	1	15
maxZC-012	2	1	16
maxZC-014	4	3	24
maxZC-015	5	2	25
maxZC-018	3	3	43
maxZC-019	1	1	46
maxZC-020	1	1	11
maxZC-022	3	3	48
maxZC-023	1	1	15
maxZC-024	1	1	25
maxZC-028	3	1	37

Tabelle 7 Randomisierte Auswahl der Brücken. 12 Patienten wurden mit Brücken versorgt. Eine randomisierte Auswahl ergab die in der Tabelle aufgeführten 12 Konstruktionen. Es waren 11 posteriore und eine anteriore. Unter den 12 Konstruktionen waren 4 Anhängerbrücken.

Patientencode	Anzahl der Konstruktionen	Randomisierte Konstruktionsnummer	Art der Versorgung
maxZC-001	1	1	15 ¹⁶ 17 ¹⁸
maxZC-002	4	2	25 ²⁶ 27
maxZC-004	2	1	25 ²⁶ 27
maxZC-005	1	1	12 ¹¹ 21 ²²
maxZC-006	2	2	25 ²⁶ 27
maxZC-008	2	1	34,35 ³⁶
maxZC-013	1	1	15 ¹⁶ 17
maxZC-014	1	1	26 ²⁷
maxZC-016	1	1	25 ²⁶ 27
maxZC-017	1	1	35 ³⁶ 37
maxZC-018	6	6	44 ⁴⁵ 46
maxZC-019	1	1	15 ¹⁶ 17

MATERIAL UND METHODE

2.6. Statistische Methoden und Auswertung

2.6.1. Verwertung von beobachteten Ereignissen

Die Prävalenz von Komplikationen und Versagen wird über die gesamte Beobachtungszeit für Kronen und Brücken getrennt berechnet als Quotient aus betroffenen Restaurationen und Anzahl aller Restaurationen.

Für Verteilungen wird der Medianwert bevorzugt und arithmetisches Mittel (MW) sowie Standardabweichung (SD) und soweit sinnvoll die Intervallgrenzen mit angegeben.

Für Komplikations- und Erfolgsrate werden 2 Berechnungen nach Kaplan-Meier durchgeführt:

- 1) Eine Berechnung aller eingegliederten Konstruktionen getrennt nach Kronen und Brücken.
- 2) Eine Berechnung für eine randomisierte Auswahl von jeweils einer Konstruktion (Kronen und Brücken) eines Patienten [69].

Weiter werden die Einflußvariablen:

- Vorliegen einer Wurzelfüllung
- Lage der Konstruktion im Kiefer (anterior versus posterior)

Für alle eingegliederten Konstruktionen getrennt nach Kronen und Brücken berücksichtigt. Dazu wird Prävalenz und soweit sinnvoll auch mittels Ereigniszeitanalyse (s. oben) ausgewertet.

Als Zeitpunkt zur Berechnung der kumulativen Überlebensrate wird jeweils die mediane Beobachtungszeit gewählt, da nach diesem Zeitpunkt nur noch die Hälfte der eingangs beobachteten Konstruktionen unter Risiko stehen. Zusätzlich erfolgt die Berechnung von Zweijahresdaten um eine Vergleichbarkeit mit Literaturdaten zu ermöglichen. Diesen Werten wird das berechnete 95%-Konfidenzintervall (CI) zugefügt.

MATERIAL UND METHODE

2.6.2. Verwertung von Qualitätsvariablen

Alle erhobenen Qualitätsvariablen (s. Kapitel 1.8. Biologische Einflussgrößen und Variablen; *Seite 38* sowie Kapitel 2.5.5. Qualitätsvariablen; *Seite 58*) der Pfeilerzähne werden als relative Häufigkeit der Ratings für die Eigenschaften Randpassung, Randverfärbung, Karies und Farbunterschied, sowie „nicht Beurteilbar“ (N), in Ein-Jahres Beobachtungsintervallen dargestellt. Ergänzend wird die Anzahl der im Beobachteten Zeitraum nicht beobachteten Pfeilerzähne als missing values prozentual angegeben.

2.6.3. Verwertung von BoP und SST

Die erhobenen Parodontalparameter (s. Kapitel 1.8.2. Bleeding on probing (BoP); *Seite 39* sowie Kapitel 2.5.5. Qualitätsvariablen; *Seite 58*) der Pfeiler- und Referenzzähne werden als Häufigkeitsverteilung von mesialen und distalen Messwert mittels Tukey-Kramer-Test auf einen 5% Niveau auf statistisch relevanten Unterschied getestet. Wenn kein signifikanter Unterschied vorliegt, wird das Unterscheidungskriterium (mesial und distal) entfernt. Zum Vergleich zwischen Pfeiler- und Referenzzähnen werden die Messwerte mittels gepaarten Mittelwertsvergleichs mit einem Signifikanzniveau von 5% auf einen statistischen Unterschied getestet. Fehlende Messwerte oder durch dieses Verfahren nicht verwertete Einzelmesswerte werden als absolute Häufigkeit dargestellt. Ein klinisch relevanter Unterschied wird angenommen, wenn sich SST der Referenzzähne um ± 1 mm im Mittelwert oder BoP um ± 1 Grad im Mittelwert unterscheiden.

ERGEBNISSE

3. Ergebnisse

3.1. Patientengut und Restaurationen

24 Patienten (15 Frauen und 9 Männer) wurden zwischen 11.05.2006 und 25.02.2011 mit 86 Konstruktionen (63 Kronen und 23 Brücken) versorgt. Das Alter der Patienten betrug bei Eingliederung im Median 43,8 Jahre (MW=43,7 Jahre, SD=14,1). Das letzte Datum an dem Nachuntersuchungsdaten für diese Studie berücksichtigt wurden, war der 15.10.2012. Dies ergab Beobachtungszeiträume zwischen 11 Monaten bis zu 67 Monaten.

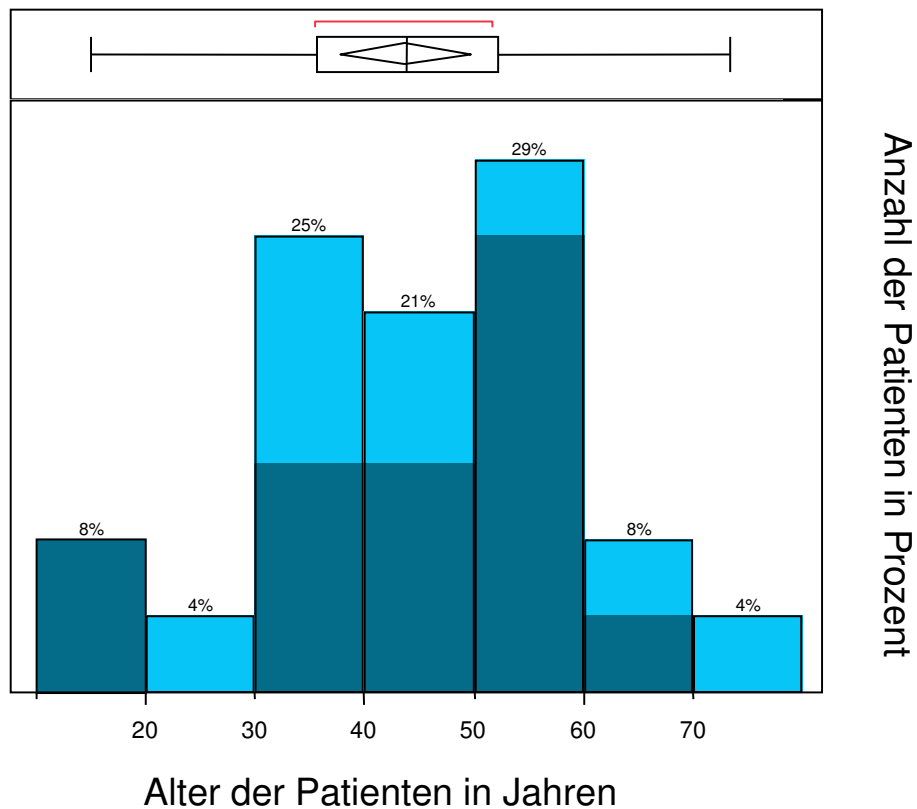


Abbildung 10 Alter aller Patienten zum Zeitpunkt der Eingliederung

Verteilung des Alters der Patienten zum Zeitpunkt der Eingliederung in Prozent. Der Median liegt bei 43,8 Jahren (MW=43,7; SD=14,1). Dunkelblau hinterlegt sind die weiblichen Patienten.

ERGEBNISSE

Die Beobachtungszeit der Kronen betrug im Median 47,6 Monate (MW=42,1 Monate; SD=8,3), die der Brücken im Median 47,8 Monate (MW=41,2 Monate; SD=15,2).

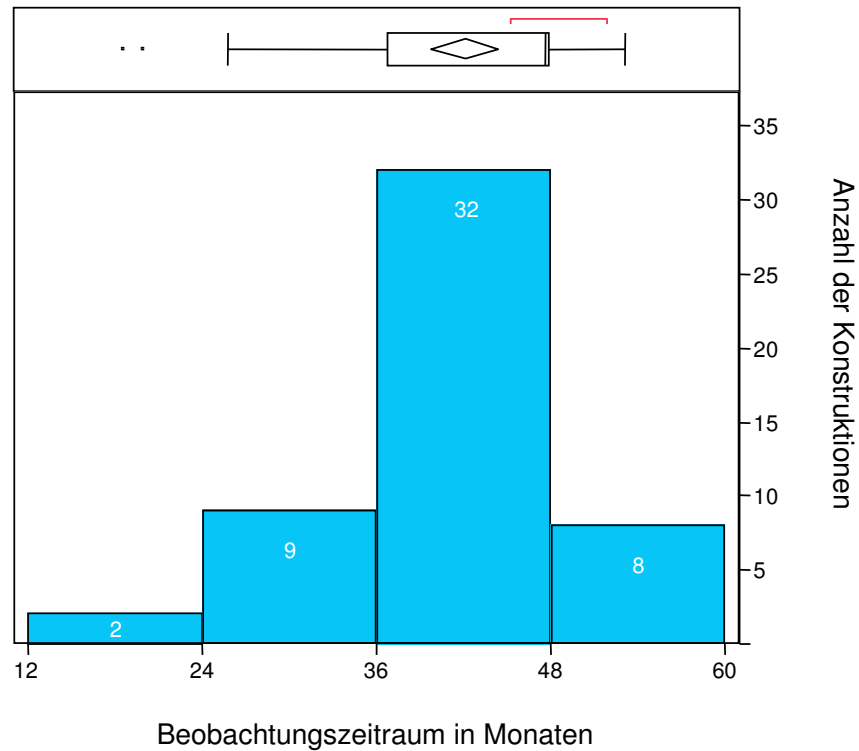


Abbildung 11 Beobachtungszeitraum der 51 Kronen in Monaten.

Fast 80% aller Konstruktionen wurden über einen Zeitraum bis über 36 Monate beobachtet. Der Median liegt bei 47,6 Monaten (MW=42,1; SD=8,3).

ERGEBNISSE

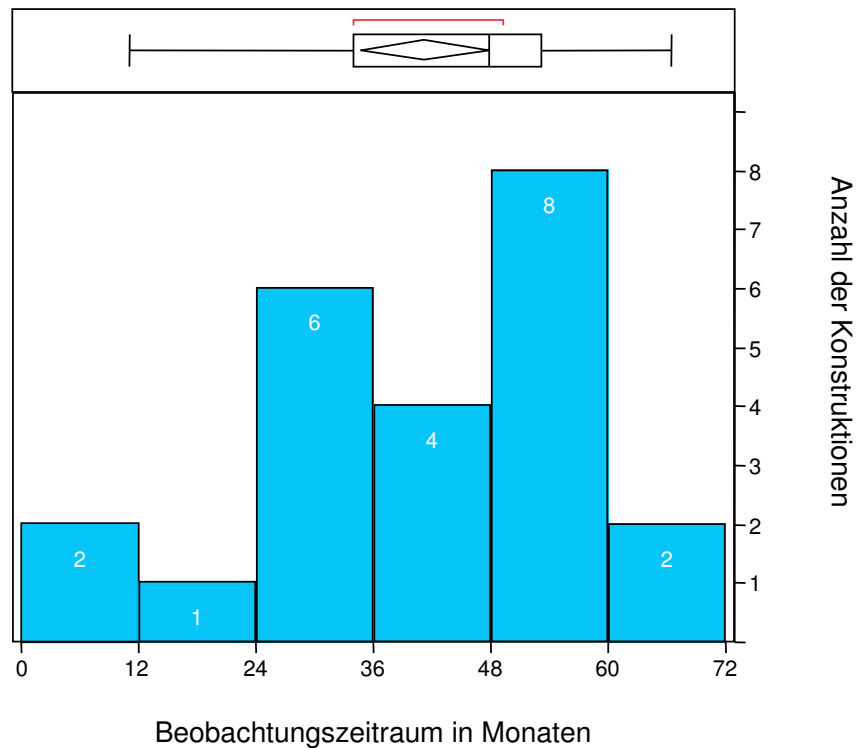


Abbildung 12 Beobachtungszeitraum der 23 Brücken in Monaten.

Fast die Hälfte aller Konstruktionen wurde über einen Zeitraum von über 48 Monaten beobachtet. Der Median liegt bei 47,8 Monaten (MW=41,2; SD=15,2).

Unter diesen 86 Konstruktionen waren 12 verblockte Kronen, sodass lediglich 74 Konstruktionen (51 Kronen und 23 Brücken) ausgewertet wurden. Innerhalb dieser 74 Konstruktionen befinden sich 13 Restaurationen (9 Kronen und 4 Brücken) bei 10 Patienten (7 Frauen und 3 Männer) welche abweichend vom Behandlungsstandard (multilink) mit RelyX Unicem (Fa. 3M ESPE, Seefeld) eingesetzt wurden (s. Abbildung 13). Das Alter dieser 10 Patienten betrug bei Eingliederung im Median 51 Jahre (MW=48 Jahre, SD=8,4).

ERGEBNISSE

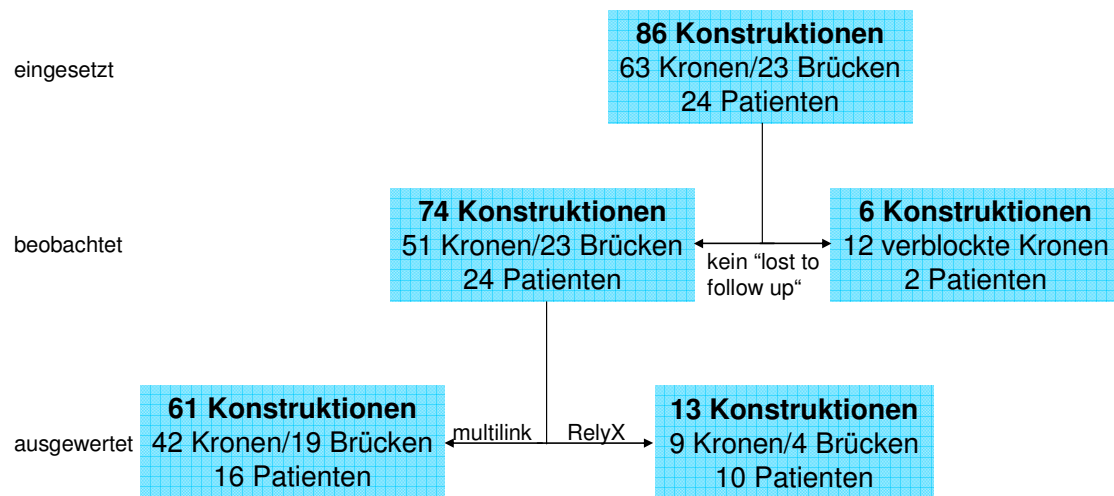


Abbildung 13 Anzahl der Konstruktionen Die gesamte Anzahl der eingesetzten und beobachteten Konstruktionen beträgt 86 (63 Kronen und 23 Brücken). Allerdings wurden 12 Kronen zensiert, weil sie verblockt waren. 74 Konstruktionen wurden ausgewertet. Es kam zu keinem "lost to follow up". Von diesen 74 Konstruktionen wurden 13 (9 Kronen und 4 Brücken) mit RelyX eingesetzt. Die restlichen 61 Konstruktionen (42 Kronen und 19 Brücken) wurden mit multilink eingesetzt.

Die Beobachtungszeit der Kronen betrug im Median 39 Monate (MW=36 Monate, SD=7,9), die der Brücken im Median 38 Monate (MW=36 Monate, SD=7,9). Damit liegen die mit RelyX befestigten Konstruktionen ca. 1 Jahr kürzer im Patientenmund als alle Konstruktionen im Schnitt.

Die Verteilung der Kronen und Brücken auf die Kiefer sind in Abbildung 17 und Abbildung 16 dargestellt. Die Verteilung der Konstruktionen auf die Patienten in Tabelle 8.

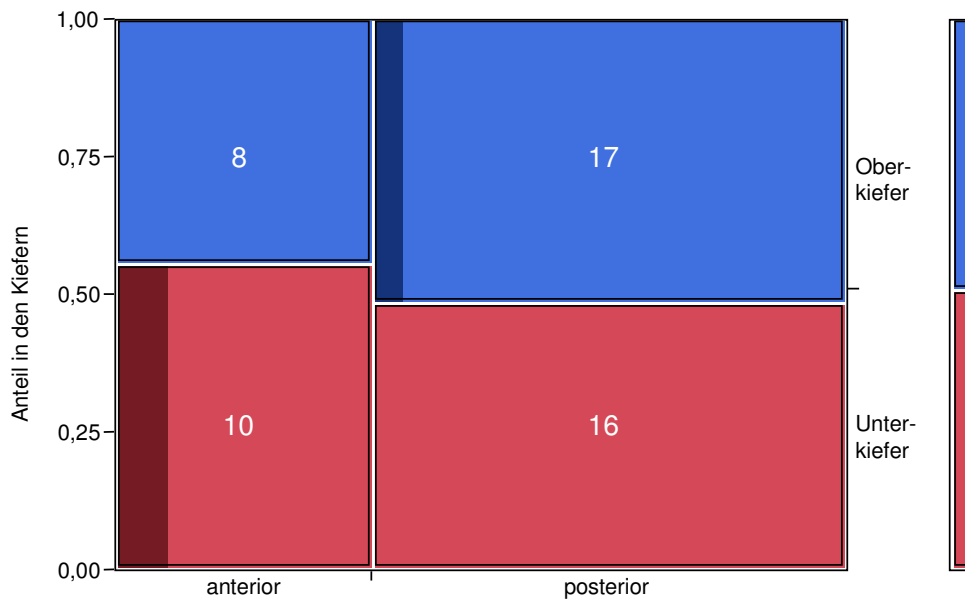
ERGEBNISSE

Tabelle 8 Konstruktionen und deren Design, Lage im Kiefer sowie Beobachtungen.

Designcode der Konstruktionen: r = Brückenanker, p = Brückenzwischenglied, c=Einzelkrone. Anhängenbrücken sind zusätzlich mit einem * markiert. Die Ziffern in Klammern hinter "Anterior" und "Posterior" beziehen sich auf die Konstruktionsnummern der vorangegangenen Spalte. In Spalte 4 ist nach der Konstruktionsnummer eine Komplikation mit „‡“ gekennzeichnet und deren Zeitpunkt steht als Monatsangabe in Klammern dahinter Gelb hinterlegt sind die mit RelyX befestigten Konstruktionen. Zwei Patienten (blau hinterlegt) haben eine Restauration mit RelyX befestigt.

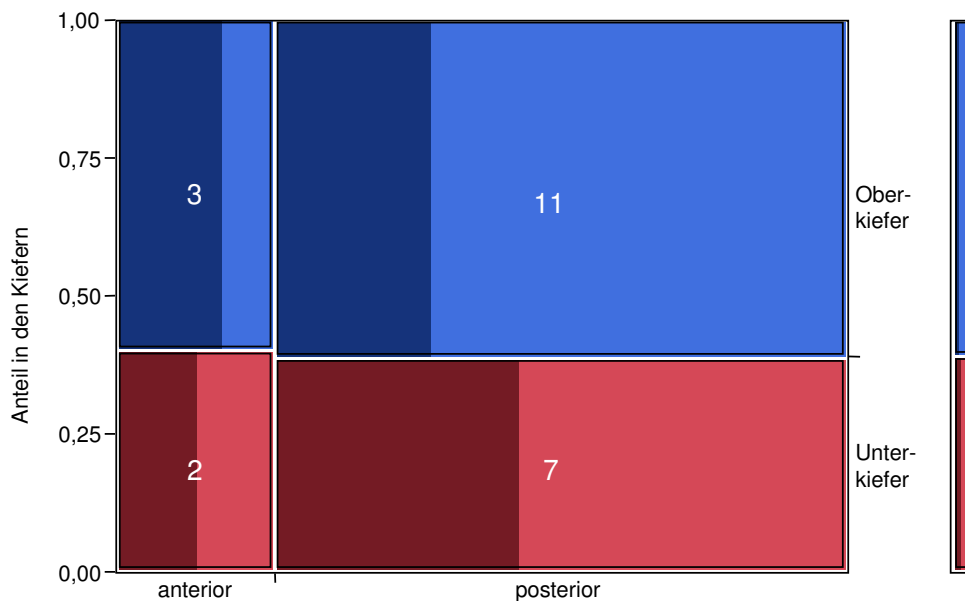
Patient: Geschlecht, Alter	Individuelle Konstruktionsnummer (#), Designcode der Konstruktion,	Regio der Restauration A=Anterior P=Posterior	Zeitpunkt der Komplikation in (Monaten) ‡
1: F 51y	#1:r-p-p-r	P(1)	#1: ‡ (62)
2: M 45y	#1:c #2:p-r-r* #3:p-r-r* #4:r-p-r #5:r-p-p-r	A(1) P(2,3,4,5)	#5: ‡ (19)
3: F 37y	#1:c #2:c #3:c #4:c	P(1,2,3,4)	#3: ‡ (47)
4: F 42y	#1:r-p-r #2:r-p-r	P(1,2)	
5: F 18y	#1:p-r,r-p*	A(1)	
6: F 55y	#1:r-p-r #2-8:c #9:r-p-r #10-15:c	A(2-7,10-15) P(1,8,9)	#1: ‡ (48)
7: M 64y	#1-5:c	P(1-5)	
8: M 20y	#1:r,r-p* #2:r,r-p*	A(2), P(1)	
9: F 60y	#1:c	A(1)	
10: M 73y	#1:c	P(1)	
11: F 43y	#1:c	P(1)	
12: F 47y	#1:c #2:c	P(1,2)	
13: M 52y	#1:r-p-r	P(1)	
14: F 50y	#1-3:c #4:r-p* #5:c	P(1-5)	
15: M 36y	#1-5:c	P(1-5)	
16: M 40y	#1:r-p-r	P(1)	#1 ‡(66)
17: F 52y	#1:r-p-r	P(1)	
18: F 52y	#1:p-r-p-r* #2:r,r-p-r #3:r,r-p* #4:r,r-p-r #5,6:c #7:r-p-r #8:c #9:r-p-r	A(2,3,5-8), P(1,4,9)	#2,4,5,6,7,9 ‡(34) #3 ‡(11)
19: F 38y	#1:r-p-r #2:c #3:c	P(1,2,3)	
20: M 33y	#1:c	A(1)	
22: F 55y	#1:c #2:c #3:c	P(1,2,3)	
23: F 15y	#1:c	P(1)	
24: M 36y	#1:c	P(1)	
28: F 35y	#1:c #2:c #3:c	P(1,2,3)	
15 weiblich 9 männlich Alter Ø 43,8J	51 Kronen 1 2-gliedrige 16 3-gliedrige Brücken 6 4-gliedrige Brücken	23 anterior 51 posterior 34 UK 38 OK	1 Endo Problem (Pat.3) 2 chip off (Pat.2&18) 2 Verblendfraktur (Pat.6,16) 3 Karies (Pat.18) 3 Kronenrand (Pat.18) 1 Paro Problem (Pat. 1)

ERGEBNISSE



Topographische Region im Kiefer

Abbildung 14 Verteilung der 51 Kronen nach Region und Kiefer. 25 Kronen im Oberkiefer, davon 8 anterior und 17 posterior. 26 Kronen im Unterkiefer, davon 10 anterior und 16 posterior. Das Verhältnis Ober- zu Unterkiefer beträgt 49 zu 51 Prozent. Dunkel hinterlegt sind die Komplikationen. Zwei im Unterkiefer anterior, eine im Oberkiefer posterior.



Topographische Region im Kiefer

Abbildung 15 Verteilung der 23 Brücken nach Region und Kiefer. 14 Brücken im Oberkiefer, davon 3 anterior und 11 posterior. 9 Brücken im Unterkiefer, davon 2 anterior und 7 posterior. Das Verhältnis Ober- zu Unterkiefer beträgt 61 zu 39 Prozent. Dunkel hinterlegt sind die Komplikationen. Zwei im Oberkiefer anterior, drei im Oberkiefer posterior, eine im Unterkiefer anterior und drei im Unterkiefer posterior.

ERGEBNISSE

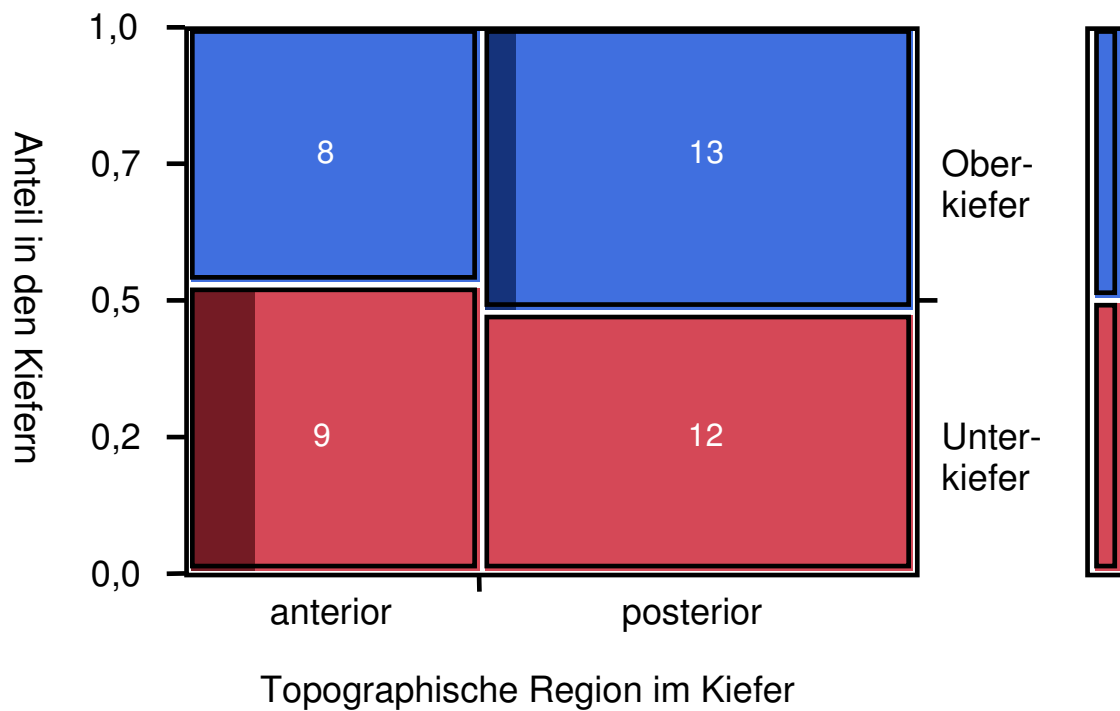


Abbildung 16 Verteilung der 42 mit multilink befestigten Kronen nach Region und Kiefer. 21 Kronen im Oberkiefer, davon 8 anterior und 13 posterior. 21 Kronen im Unterkiefer, davon 9 anterior und 12 posterior. Die Verteilung von Ober- und Unterkiefer beträgt 50 zu 50 Prozent. Dunkel hinterlegt sind die Komplikationen.

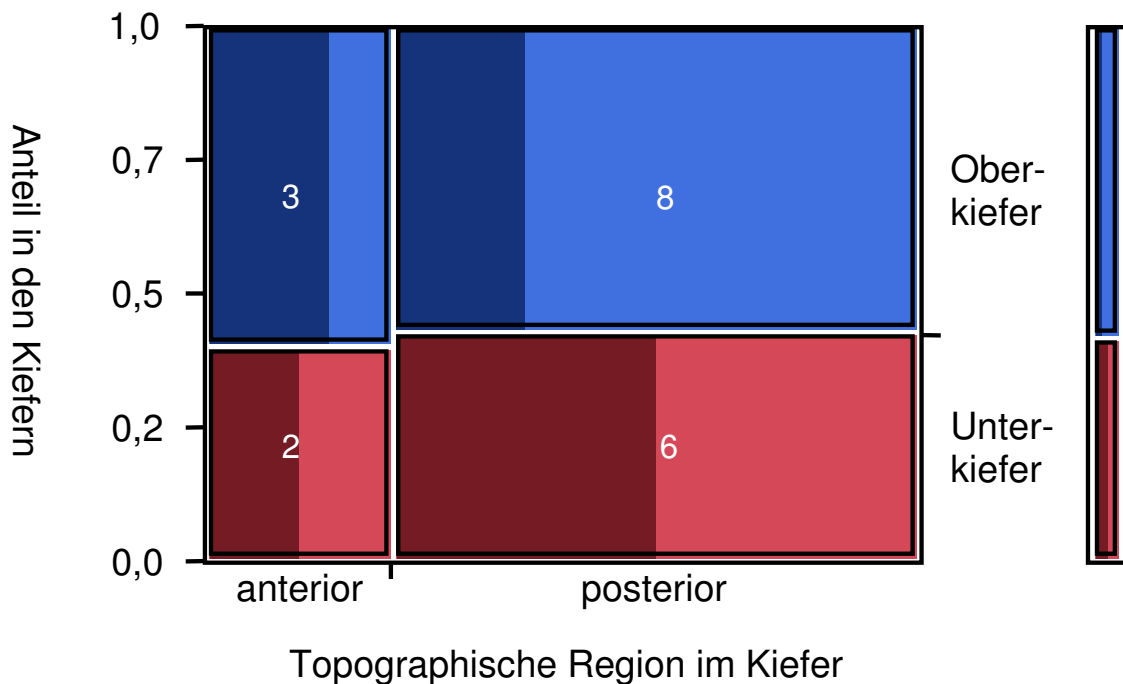


Abbildung 17 Verteilung der 19 mit multilink befestigten Brücken nach Region und Kiefer. 11 Brücken im Oberkiefer, davon 3 anterior und 8 posterior. 8 Brücken im Unterkiefer, davon 2 anterior und 6 posterior. Verhältnis Ober- zu Unterkiefer beträgt 58 zu 42 Prozent. Dunkel hinterlegt sind die Komplikationen.

ERGEBNISSE

Es handelt sich insgesamt um 98 (davon 16 mit RelyX-Unicem versorgte) präparierte Zähne mit 123 (davon 21 RelyX – Unicem versorgte) Einheiten. Unter den 24 untersuchten Patienten waren 15 Frauen (62,5%) und 9 Männer (37,5%). Das Patientenalter lag zum Zeitpunkt der Eingliederung zwischen 15 und 77 Jahren, wobei das Gros der Patienten (75%) zwischen 30 und 60 Jahren alt war. Die Altersgruppe von 51 bis 60 Jahren war mit 29% am stärksten vertreten (s. Abbildung 10; Seite 64), danach die Altersgruppe von 31 bis 40 Jahren mit 25% und die Altersgruppe von 41 bis 50 Jahren mit 21%. Die Altersgruppe von 61 bis 70 und unter 20 Jahren machten jeweils 8% aus. Den geringsten Anteil mit 4% hatten die Altersgruppen zwischen 21 und 30 bzw. über 70 Jahren.

3.2. Beobachtungen & Ereignisse an den Restaurationen

Wie in Tabelle 13 beschrieben wurden 12 Ereignisse an 12 Konstruktionen (3 Kronen, 9 Brücken) bei 6 Patienten (2 m, 4 f) beobachtet.

Diese wurden hinsichtlich Erfolg und Misserfolg eingeordnet (s. Kap. 1.9. (Miss-)erfolgsbewertung; Seite 44).

3.2.1 Ereignisse an Kronen

Bei den Kronen kam es zu keinem absoluten Misserfolg (Kein Versagen).

Allerdings wurden 3 Ereignisse als Komplikationen bewertet:

- Es kam zu einem chip off bei Patientin maxZC-018 des Grad 1 an einer anterioren Krone im Unterkiefer. → CDA-rating „Tango“ (fragwürdig). Diese Abplatzung befand sich mesio-inzisal am Zahn 33 und wurde durch Politur behoben → upgrading auf CDA-rating „Sierra“ (akzeptabel).
- Weiter wurde zur Drei-Jahresuntersuchung bei Patientin maxZC-018 an einer Frontzahnkrone im Unterkiefer (32 lingual) ein sonderbarer Rand mit offen liegendem Dentin jedoch ohne Substanzverlust beobachtet → CDA rating „Tango“ (fragwürdig).
- Bei Patientin maxZC-003 kam es an der Krone 26 zu einer endodontischen Komplikation mit anschließender Trepanation. Diese beeinträchtigte die

ERGEBNISSE

Krone aber weder funktionell noch kam es zu einem Verlust der anatomischen Struktur. Daher wurde dies auch nicht als Misserfolg bewertet.
→ CDA rating „Tango“.

3.2.2 Ereignisse an Brücken

Bei den Brücken kam es zu sechs Misserfolgen, wovon alle sechs Brücken auch im Nachgang entfernt werden mussten.

Hinzu kommen drei Komplikationen an drei weiteren Brücken.

- Bei Patientin maxZC-001 wurde nach 62 Monaten ein PA-Problem (Sondierungstiefen von 11mm mesial und distal) festgestellt, welches als biologische Komplikation zur Entfernung des Pfeilerzahnes 15 und damit zum Versagen der gesamten Konstruktion (welche mit RelyX Unicem befestigt war) führte. (s. Abbildung 21; Seite 75) → CDA Rating „Victor“ (Versagen).
- Nach 66 Monaten trat bei Patient maxZC-016 eine Verblendfraktur am Endpfeiler 26 der Brücke 24-26 auf (s. Abbildung 19; Seite 74). Durch den Verlust der anatomischen Form erhielt die Brücke das CDA Rating „Victor“ (Versagen).
- Weiter kam es bei Patientin maxZC-006 nach 48 Monaten zu einer Verblendfraktur (s. Abbildung 18; Seite 74). Dieses trat mesio-palatinal am Endpfeiler 16 der Brücke 14-16 auf. Durch den Verlust der anatomischen Form erhielt die Brücke das CDA Rating „Victor“ (Versagen).
- Bei Patientin maxZC-018 trat nach 11 Monaten eine Karies am endständigen Brückenpfeiler 23 der Brücke 23-25 auf, welche mit einer Zahnhalsfüllung behandelt wurde. Durch den Verlust des Randes und der anatomischen Struktur erhielt die Brücke das CDA Rating „Victor“ (Versagen) (s. Abbildung 20; Seite 75). Durch die Füllung wurde ein upgrade auf CDA-rating „Tango“ vergeben; allerdings wurde die Brücke im Nachlauf einer Gesamtsanierung entfernt.

ERGEBNISSE

Es wurden nach 34 Monaten bei selber Patientin (maxZC-018) zwei weitere Karies an zwei Konstruktionen beobachtet:

- Eine Randkaries an Zahn 11 vestibulär (Brücke 11,12-22) auf. → CDA Rating „Victor“ (Versagen). Die Brücke wurde ohne Kariestherapie im Nachlauf entfernt.
- Eine Randkaries am endständigen Pfeiler 37 lingual der Brücke 34,35-37 auf. → CDA Rating „Victor“ (Versagen). Die Brücke wurde ohne Kariestherapie im Nachlauf entfernt.

Weiter wurden bei der Patientin maxZC-018 nach 34 Monaten beobachtet:

- sondierbarer Kronenrand an Pfeilerzahn 31 lingual der Brücke 31-42 → CDA rating „Tango“ (fragwürdig). Die Brücke wurde ohne Kariestherapie im Nachlauf entfernt.
- sondierbaren Kronenrand an Pfeilerzahn 44 buccal der Brücke 44-46; → CDA rating „Tango“(fragwürdig). Die Brücke wurde ohne Kariestherapie im Nachlauf entfernt.
- Bei Patient maxZC-002 kam es nach 19 Monaten zu einem chip-off des Grad 1 am Pfeilerzahn 48 der Brücke 45-48. → CDA-rating „Tango“ (fragwürdig). Diese Abplatzung befand sich am disto-buccalen Höcker und wurde durch Politur behoben → upgrading auf CDA-rating „Sierra“ (akzeptabel).

Die beobachteten Komplikationen traten bei fünf vitalen (1 anterior / 4 posterior) und sieben devitalen (4 anterior / 3posterior) Zähnen auf.

ERGEBNISSE

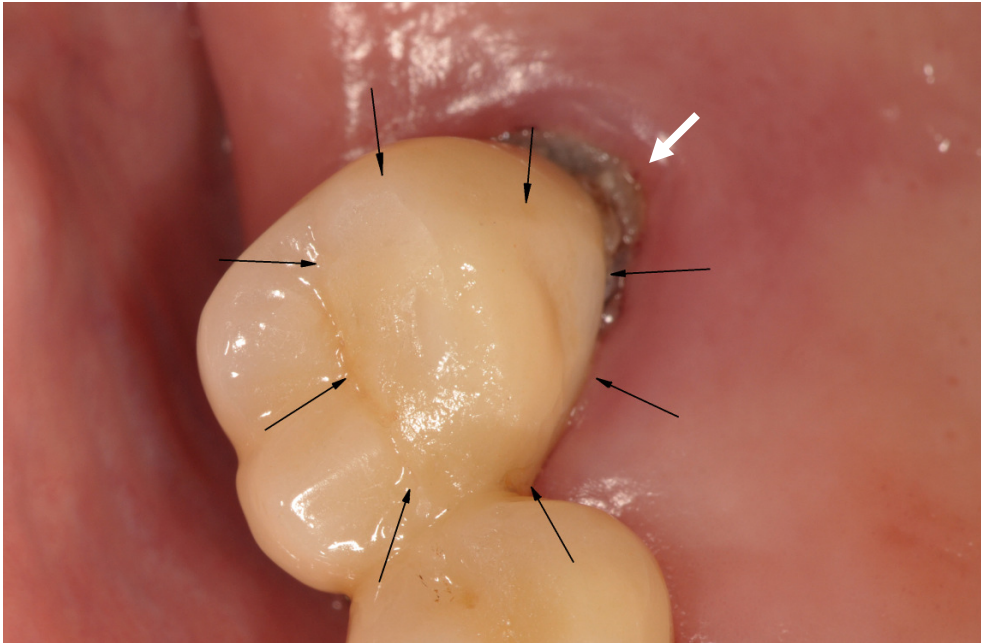


Abbildung 18 Verblendfraktur an Brückenanker 16. Technischer Misserfolg nach 48 Monaten. Verblendfraktur occlu-palato-mesial mit Verlust der anatomischen Form an Zahn 16. Die Patientin ist Knirscherin und hatte keine Schiene. Außerdem ist bei der Patientin eine insuffiziente Mundhygiene auffällig, durch harte und weiche Beläge im Bereich des Restaurationsrandes (weißer Pfeil). Pat-ID: maxZC-006;CDA-Rating: „Victor“.



Abbildung 19 Verblendfraktur an Brückenanker 27. Technischer Misserfolg nach 66 Monaten. Verblendfraktur occlu-bucco-distal mit Verlust der anatomischen Form an Zahn 27. Der Patient ist Knirscher und hatte keine Schiene. Pat-ID: maxZC-016, CDA-Rating: „Victor“.

ERGEBNISSE

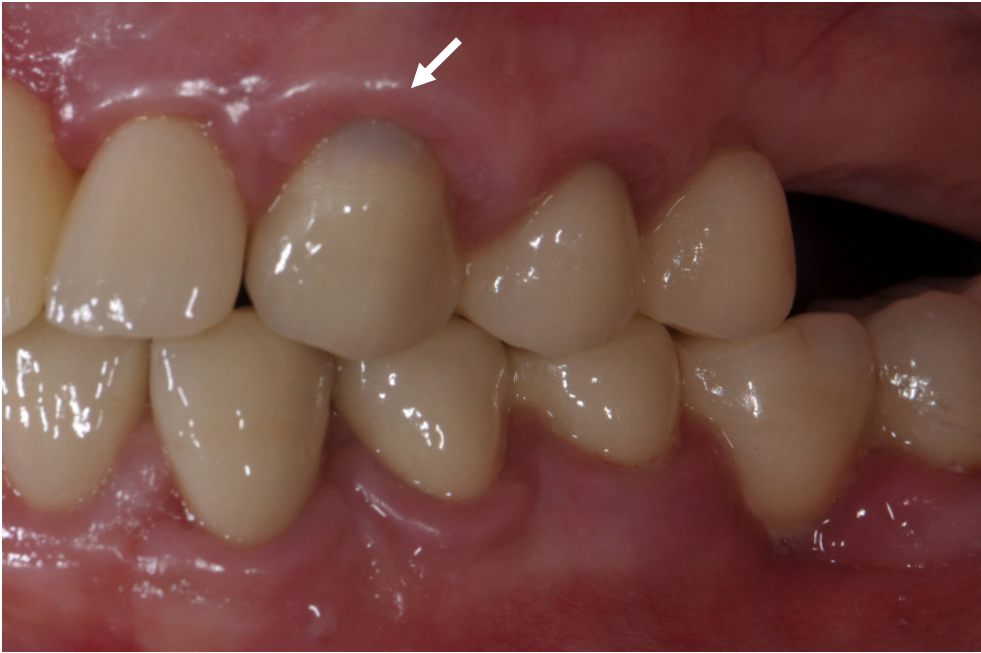


Abbildung 20 Randkaries an Zahn 23 nach Zahnhalsfüllung. Biologischer Misserfolg nach 11 Monaten. Behandelte Randkaries (Pfeil) mit Verlust der anatomischen Struktur (Kronenrand) an Zahn 23. Danach blieb die Versorgung in situ. Die Brücke wurde im Nachlauf einer Gesamtsanierung entfernt. Pat-ID: maxZC-018; CDA-Rating: „Victor“ / Upgrade auf „Tango“



Abbildung 21 PA an Brückenankern 15-18. Biologischer Misserfolg nach 62 Monaten. SST waren bei 15 mesial und distal 11mm. An 18 mesial 4mm distal 6mm. Außerdem hatte die Brücke einen Lockerungsgrad 1. Pat-ID: maxZC-001, CDA-Ranking „Victor“.

ERGEBNISSE



Abbildung 22 Randkaries an Pfeilerzahn 11 vestibulär. Biologischer Misserfolg nach 34 Monaten. Die Brücke wurde ohne Kariestherapie im Nachlauf entfernt und die Patientin komplett prothetisch neu versorgt. Pat-ID: maxZC-018; CDA-Rating: „Victor“.



Abbildung 23 Randkaries an Pfeilerzahn 37 lingual. Biologischer Misserfolg nach 34 Monaten. Karies mit sondierbarem Randspalt (Pfeil). Die Brücke wurde ohne Kariestherapie im Nachlauf entfernt. Pat-ID: maxZC-018; CDA-Rating: „Victor“.

ERGEBNISSE

3.3. Auswertung

3.3.1. Prävalenz von Komplikation und Versagen

Wie in Kapitel 3.1. Patientengut gezeigt, wurden bei 24 Patienten 86 (63 Kronen und 23 Brücken) Konstruktionen eingegliedert (s. Abbildung 13; *Seite 67*). Hiervon mussten 12 Kronen exkludiert werden, da diese verblockt waren. Die verbliebenen 74 (51 Kronen und 23 Brücken) Konstruktionen konnten alle nachuntersucht werden. Unter diesen waren 13 Konstruktionen (9 Kronen und 4 Brücken), die mit RelyX eingegliedert wurden.

Von den beobachteten Konstruktionen ging im Beobachtungszeitraum keine Restauration zu Verlust. Allerdings trat Versagen von Zahnersatz auf, der die Neuanfertigung notwendig machte.

Die Prävalenz dieses Versagens beträgt bei Brücken 26% (6 von 19). Bei einer von 51 Kronen war eine Trepanation notwendig, die nicht als Versagen der Konstruktion gewertet wurde, weshalb die Prävalenz von Versagen der Kronen 0% beträgt.

Zusätzlich wurden bei den Brücken drei, und bei den Kronen noch zwei interventionsbedürftige Komplikationen beobachtet. Damit ist die Prävalenz von Komplikationen (inklusive Versagen) bei Brücken 39% (9 von 23) und Kronen 6% (3 von 51).

Technisches Versagen der Verblendkeramik und biologische Probleme kennzeichnen Komplikationen und Versagen (s. Tabelle 8; *Seite 68*).

3.3.2. Komplikationsrate

Als Komplikation wurde jedes unerwünschte Ereignis (alle relativen und absoluten Misserfolge) gewertet, welches beobachtet wurde. (s. Kapitel 3.2. Beobachtungen & Ereignisse an den Restaurationen; *Seite 71*).

ERGEBNISSE

Komplikationsrate aller Kronen unabhängig vom Befestigungsmaterial

Die Komplikationsrate der Kronen beträgt über die gesamte Kohorte nach 24 Monaten 0%. Zu diesem Zeitpunkt sind 50 von 51 Kronen unter Risiko. Nach 48 Monaten beträgt die Komplikationsrate für Kronen 8,3% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 3 – 23%. Zu diesem Zeitpunkt sind 25 von 51 Kronen unter Risiko. Bei der Validierung der Schätzung durch eine randomisierte Auswahl von einer Krone je Patient beträgt die Komplikationsrate zu beiden Zeitpunkten 0% (16 von 17 unter Risiko) und nach 40 Monaten (9 von 17 unter Risiko).

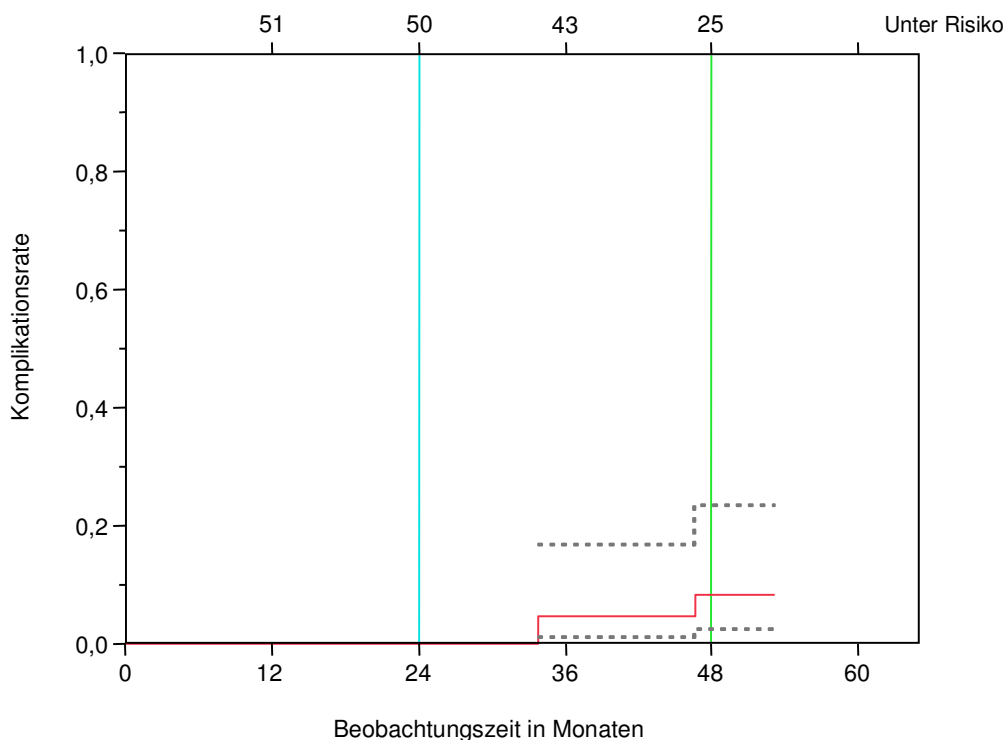


Abbildung 24 Komplikationsrate aller Kronen unabhängig vom Befestigungsmaterial mittels Kaplan-Meier-Schätzung. Die Rote Linie verbindet die Werte von 1 minus kumulativer Überlebensfunktion zum zensierten Zeitpunkt. Die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen sind in gepunkteten Linien aufgetragen. Nach 24 Monaten (blaue Linie) beträgt die Komplikationsrate für Kronen 0% (CI=0) (50 von 51 unter Risiko). Nach 48 Monaten (grüne Linie) beträgt die Komplikationsrate für Kronen 8,3% (CI=0,03-0,23) (25 von 51 unter Risiko). **Bei der randomisierten Auswahl (eine Krone je Patient) beträgt die Komplikationsrate an beiden Bewertungszeitpunkten 0%.**

ERGEBNISSE

Komplikationsrate aller Brücken unabhängig vom Befestigungsmaterial

Die Komplikationsrate der Brücken beträgt über die gesamte Kohorte nach 24 Monaten beträgt 9,1% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 2 – 30%. Zu diesem Zeitpunkt sind 20 von 23 Brücken unter Risiko.

Nach 48 Monaten beträgt die Komplikationsrate für Brücken 35,7% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 18 – 59%. Zu diesem Zeitpunkt sind 11 von 23 Brücken unter Risiko. Bei der Validierung der Schätzung durch eine randomisierte Auswahl von einer Brücke je Patient beträgt die Komplikationsrate nach 24 Monaten 0% (11 von 12 unter Risiko) und nach 48 Monaten 11,1% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 2 – 50% (6 von 12 unter Risiko) (s. Abbildung 23 oben).

Für die randomisierte Auswahl beträgt die mediane Beobachtungszeit für Brücken ebenfalls 48 Monate. Die Erfolgsrate der randomisierten Auswahl in kumulativer Überlebensfunktion ergibt nach 24 Monaten 100% und auf 48 Monate 88,9% (s. Abbildung 23 unten).

ERGEBNISSE

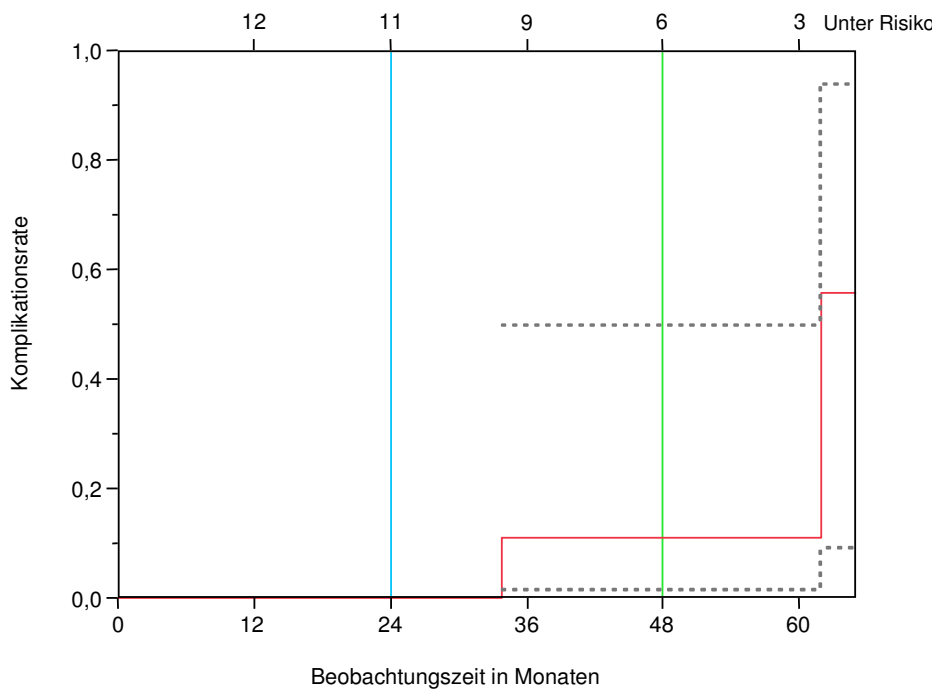
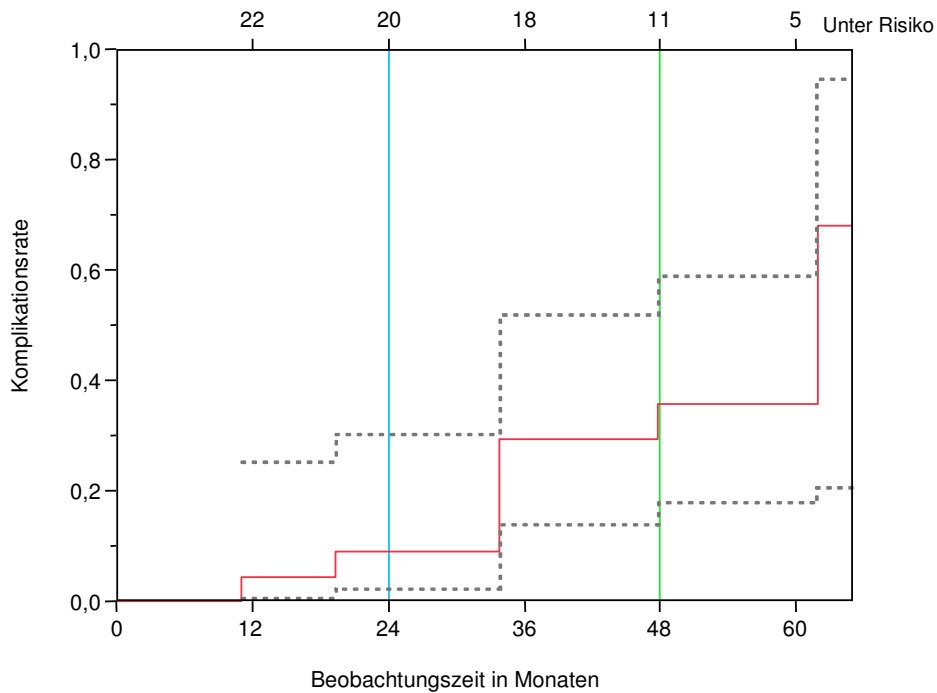


Abbildung 25: Komplikationsrate aller Brücken unabhängig vom Befestigungsmaterial (oben) und Validierung mittels randomisierter Auswahl (unten).

Die Rote Linie verbindet die Werte der kumulativen Überlebensfunktion zu den zensierten Zeitpunkten. Die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen sind in gepunkteten Linien aufgetragen. Nach 24 Monaten (blaue Linie) beträgt die Komplikationsrate aller Brücken 9,1% (CI=0,02-0,3) (20 von 23 unter Risiko). Nach 48 Monaten (grüne Linie) beträgt die Komplikationsrate für Brücken 35,7% (CI=0,18-0,59) (11 von 23 unter Risiko).

Für die randomisierte Auswahl der Brücken beträgt die Komplikationsrate nach 24 Monaten 0% (CI=0) (11 von 12 unter Risiko). Die Komplikationsrate für Brücken auf 48 Monate beträgt 11,1% (CI=0,02-0,5) (6 von 12 unter Risiko).

ERGEBNISSE

Komplikationsrate der adhäsiv mit Multilink® befestigten Kronen

Die Komplikationsrate bei den 42 mit multilink eingesetzten Kronen beträgt nach 24 Monaten 0%. Zu diesem Zeitpunkt waren alle 42 Kronen unter Risiko. Nach 48 Monaten beträgt die Komplikationsrate 8,9% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 3 – 25%. Zu diesem Zeitpunkt sind 20 von 42 Kronen unter Risiko.

Bei Kronen trat kein Versagen auf (Erfolgsrate=100%).

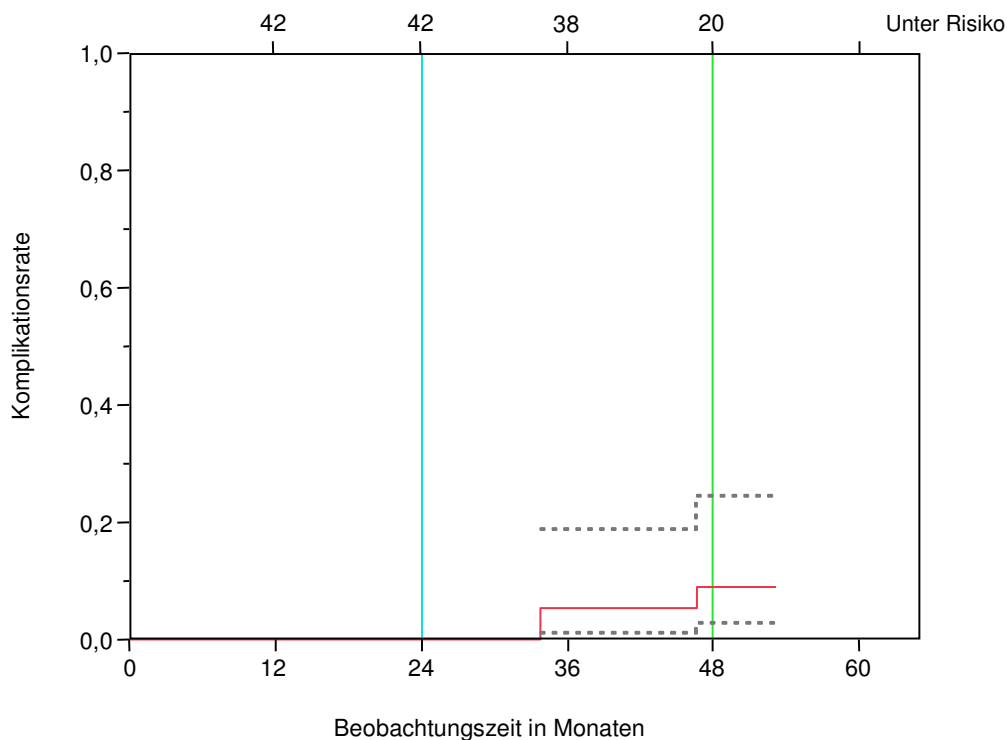


Abbildung 26 Komplikationsrate aller mit multilink befestigter Kronen mittels Kaplan-Meier-Schätzung. Die Rote Linie verbindet die Werte der kumulativen Überlebensfunktion zu den zensierten Zeitpunkten. Die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen sind in gepunkteten Linien aufgetragen. Nach 24 Monaten (blaue Linie) beträgt die Komplikationsrate für Kronen 0% (CI=0) (42 von 42 unter Risiko). Nach 48 Monaten (grüne Linie) beträgt die Komplikationsrate für Kronen 8,9% (CI=0,03-0,25) (20 von 42 unter Risiko). **Bei der randomisierten Auswahl (eine Krone je Patient) beträgt die Komplikationsrate an beiden Bewertungszeitpunkten 0%.**

ERGEBNISSE

Komplikationsrate der adhäsiv mit Multilink® befestigten Brücken

Die Komplikationsrate dieser 19 Brücken beträgt nach 24 Monaten 10,9% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 3 – 35%. Zu diesem Zeitpunkt sind 17 der 19 Brücken unter Risiko (s. Abbildung 27 oben).

Nach 48 Monaten beträgt die Komplikationsrate für Brücken 41,2% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 21 – 65%. Zu diesem Zeitpunkt sind 10 von 19 Brücken unter Risiko. Bei der Validierung der Schätzung durch eine randomisierte Auswahl von einer Brücke je Patient beträgt die Komplikationsrate nach 24 Monaten 0% (8 von 8 unter Risiko) und nach 48 Monaten 16,7% mit einem 95% Konfidenzintervall der Schätzung im Bereich von 2 – 63% (5 von 8 unter Risiko) (s. Abbildung 27 unten).

ERGEBNISSE

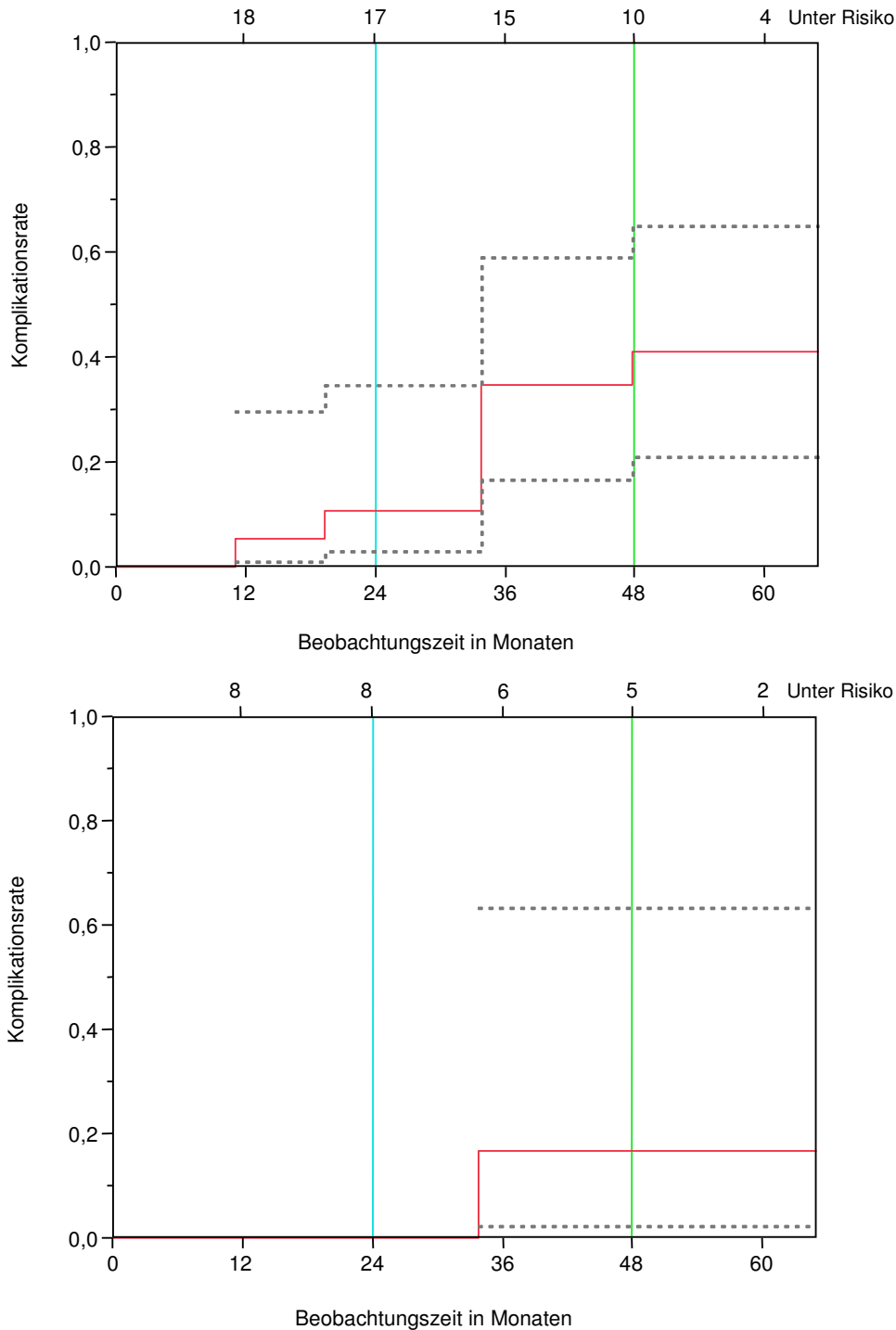


Abbildung 27 Komplikationsrate aller adhäsiv mit Multilink befestigter Brücken (oben) und Validierung mittels randomisierter Auswahl (unten).

Die Rote Linie verbindet die Werte der kumulativen Überlebensfunktion zu den zensierten Zeitpunkten. Die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen sind in gepunkteten Linien aufgetragen. Nach 24 Monaten (blaue Linie) beträgt die Komplikationsrate der Brücken 10,9% (CI=0,03-0,35) (17 von 19 unter Risiko). Nach 48 Monaten (grüne Linie) beträgt die Komplikationsrate für Brücken 41,2% (CI=0,21-0,65) (10 von 19 unter Risiko).

Für die randomisierte Auswahl der Brücken beträgt die Komplikationsrate nach 24 Monaten 0% (CI=0) (8 von 8 unter Risiko). Die Komplikationsrate für Brücken auf 48 Monate beträgt 16,7% (CI=0,02-0,63) (5 von 8 unter Risiko).

ERGEBNISSE

3.3.3. Überlebensraten

Wie oben beschrieben kam es bei den Kronen zu keinem Misserfolg, allerdings wurden drei Komplikationen beobachtet (s. Kapitel 3.2. Beobachtungen & Ereignisse an den Restaurationen; *Seite 71* und Kapitel 3.3.2. Komplikationsrate, *Seite 77*). Daher beträgt die Überlebensrate 100% zu allen Zeitpunkten der Beobachtung, bei allen Kronen sowie bei den adhäsiv mit multilink befestigten Kronen (s. Tabelle 9, *Seite 86*)

Bei den Brücken wurden sechs Ereignisse als Misserfolge gewertet. Außerdem wurden drei Komplikationen beobachtet.

Bei allen Brücken zeigt sich eine Überlebensrate von 95,7% auf 24 Monate und 78,5% auf 48 Monate.

Bei der validierten Gruppe kam es zu einer Überlebensrate von 100% auf 24 Monate und 83,8% auf 48 Monate.

Bei den mit multilink befestigten Brücken zeigt sich eine Überlebensrate von 94,7% auf 24 Monate und 75,4% auf 48 Monate.

Bei der validierten Gruppe kam es zu einer Überlebensrate von 100% auf 24 Monate und 80% auf 48 Monate (s. Abbildung 28).

ERGEBNISSE

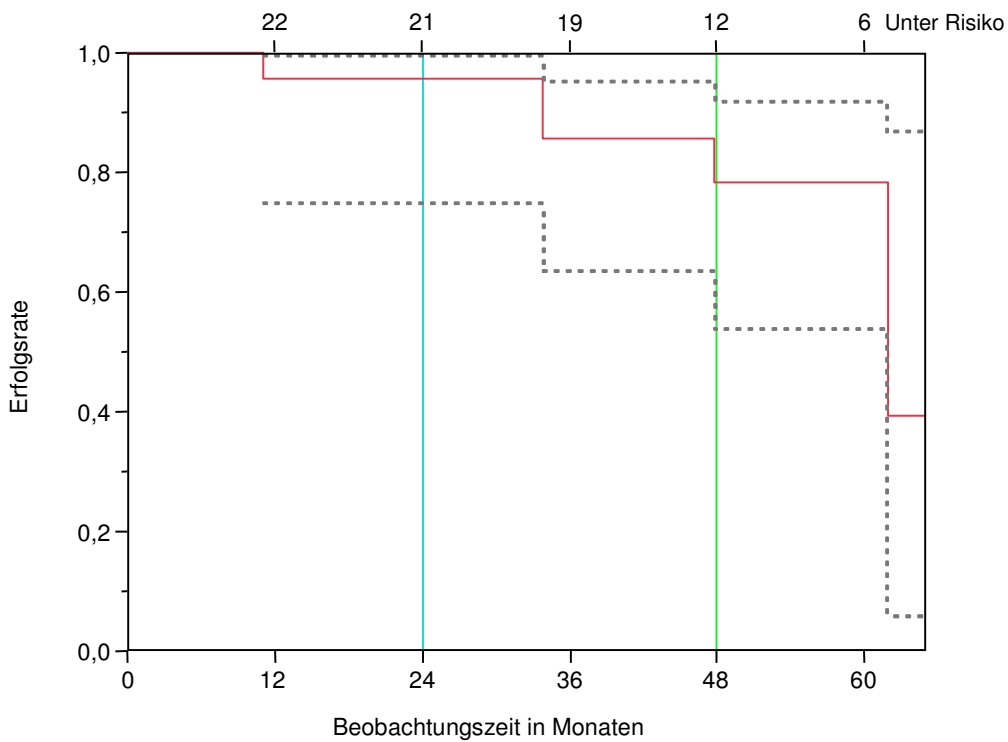


Abbildung 28 Überlebensrate aller Brücken unabhängig vom Befestigungsmaterial. Nach 24 Monaten (blaue Linie) liegt die Erfolgsrate für Brücken bei 95,7% (CI=0,75-0,99) (21 von 23 unter Risiko). Nach 48 Monaten (grüne Linie) liegt die Erfolgsrate der Brücken bei 78,5% (CI=0,54-0,92) (12 von 23 unter Risiko).

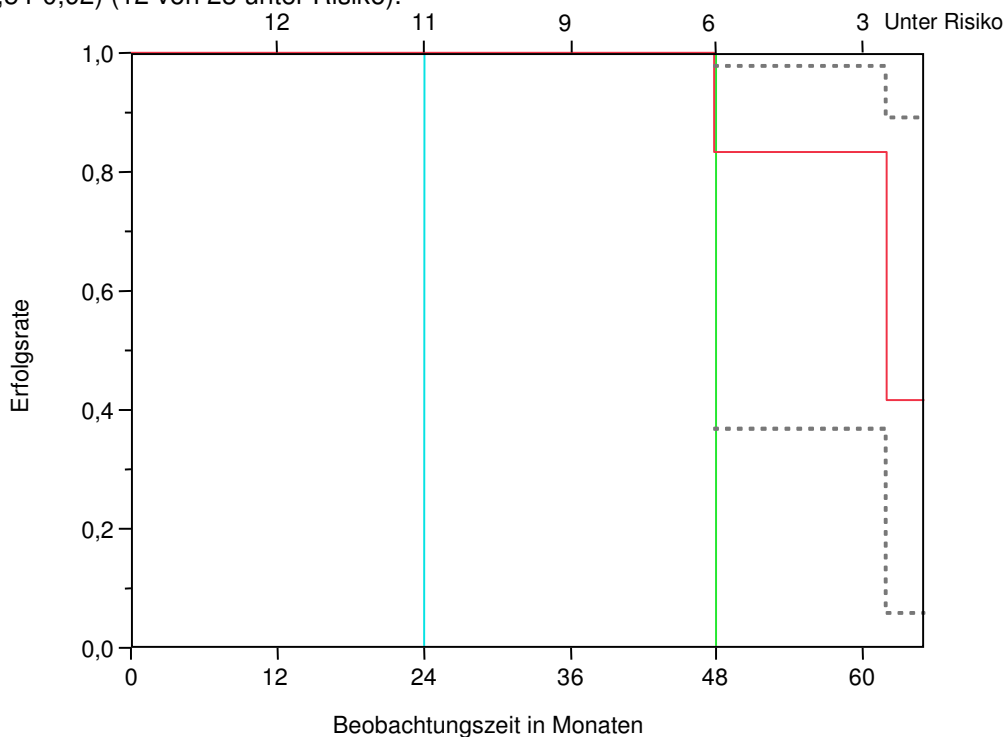


Abbildung 29 Überlebensrate der mittels Randomisierung validierten Auswahl aller Brücken unabhängig vom Befestigungsmaterial. Nach 24 Monaten (blaue Linie) liegt die Erfolgsrate für Brücken bei 100% (CI=1) (11 von 19 unter Risiko). Nach 48 Monaten (grüne Linie) liegt die Erfolgsrate der Brücken bei 83,3% (CI=0,37-0,98) (6 von 19 unter Risiko).

ERGEBNISSE

3.3.4. Zusammenfassung der Komplikations- und Überlebensraten:

Aus den Kapiteln 3.3.2 und 3.3.3 kann folgende Übersicht erstellt werden, die die Ergebnisse für einen Vergleich mit Literaturdaten zusammenfasst.

Tabelle 9 Zusammenfassung der Komplikations- und Überlebensraten. Alle Komplikations- und Erfolgsraten nach 24 Monaten und 48 Monaten für die Gesamtkohorte und die multilink-Kohorte.

Kohorte	Komplikationsrate in % alle (validiert)		Überlebensrate in % alle (validiert)	
	24 Monate	48 Monate	24 Monate	48 Monate
51 Kronen	0 (0)	8,3 (0)	100 (100)	100 (100)
23 Brücken	9,1 (0)	35,7 (11,1)	95,7(100)	78,5 (83,3)
42 Kronen (multilink)	0 (0)	8,9 (0)	100 (100)	100 (100)
19 Brücken (multilink)	10,9 (0)	41,2 (16,7)	94,7 (100)	75,4 (80)

ERGEBNISSE

3.3.5. Qualität

Die Restaurationen wurden nachuntersucht und mittels modifizierter CDA-Kriterien fortwährend evaluiert um somit eine Aussage über die Qualität zu treffen. Des Weiteren wurden Daten der Sulkussondierungstiefen, des “Bleeding on Probing” und der Sensibilitätskontrolle erhoben und evaluiert.

Tabelle 10 Verteilung der Qualitätskriterien Randpassung, Karies, Randverfärbung und Farbunterschied nach CDA-Schema in Prozent.

Anzahl der untersuchten Restaurationen (UR) im Jahresintervall des Beobachtungszeitraumes (BZ in Jahren) mit Bezug auf alle möglichen zu beobachteten Restaurationen in diesem Zeitintervall (BR) mit Bezug auf die 74 Restaurationen in der Kohorte :

A= einwandfrei; B=akzeptabel; C= fragwürdig; D= Misserfolg; N= klinisch nicht beurteilbar/ erhebbbar.

BZ (Jahre)	UR (n)	BR (%)	Randpassung in %					Karies in %			Randverfärbung in %					Farbunterschied in %			
			A	B	C	D	N	A	D	N	A	B	C	D	N	A	B	C	D
< 1	54	55,1	87	9,2	3,7	0	0	94,4	1,9	3,7	74,1	0	1,9	0	24,1	96,3	3,7	0	0
< 2	39	39,8	94,9	5,1	0	0	0	97,4	0	2,6	92,3	0	0	0	7,7	100	0	0	0
< 3	33	33,7	87,9	9,1	0	0	3	94	6,1	0	81,8	3	0	0	15,2	94	6,1	0	0
ab 3	62	62,3	90,3	6,5	0	3,2	0	100	0	0	93,5	3	0	0	1,6	100	0	0	0

Die Qualität ist kompromittiert von den in Kapitel 3.2. Beobachtungen & Ereignisse an den Restaurationen beschriebenen Daten. Zum Zeitpunkt der jeweils letzten Beobachtung ist die Bewertung von ca. 80% (57 von 74) der Konstruktionen „Romeo“ (einwandfrei) bewertet. Dies beinhaltet die Bewertung für eine einwandfreie Rand-, Form- und Farbpassung, Oberflächenqualität sowie Absenz von Randverfärbungen an allen Teilen der Konstruktion!

ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

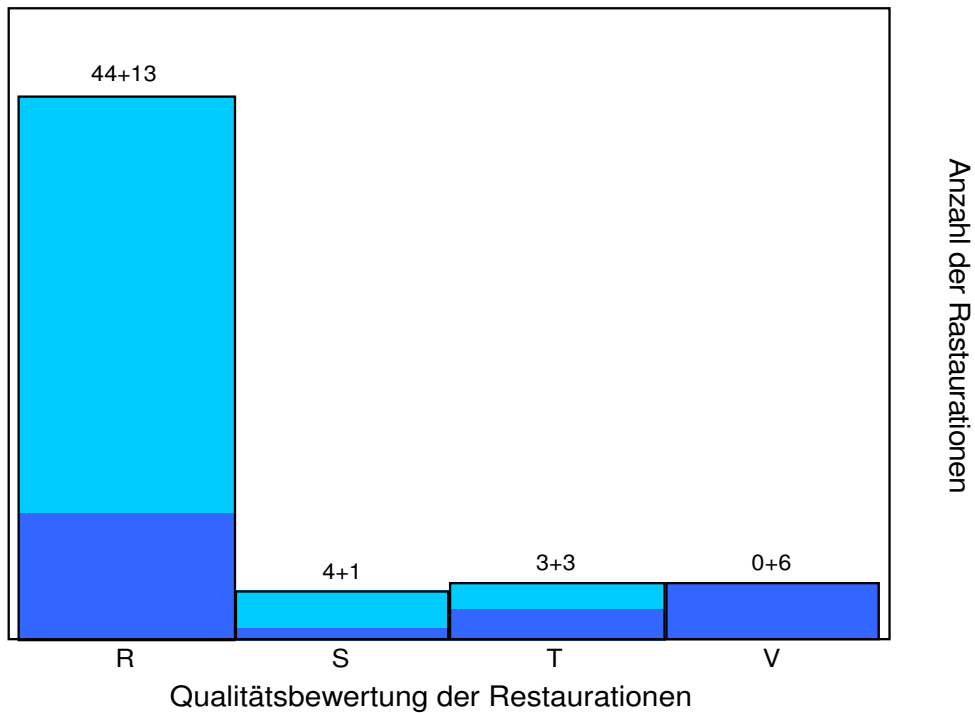


Abbildung 30 Verteilung der Qualitätsbewertungen bei maximaler Beobachtungszeit
 77% R=einwandfrei, 7,4% S=akzeptabel, 8,1% T=fraglich, 8,1% V=Misserfolg
 (Brückenkonstruktionen sind dunkelblau unterlegt) Auf den Balken findet sich die Anzahl der
 Kronen Plus die Anzahl der Brücken mit der jeweiligen Bewertung.

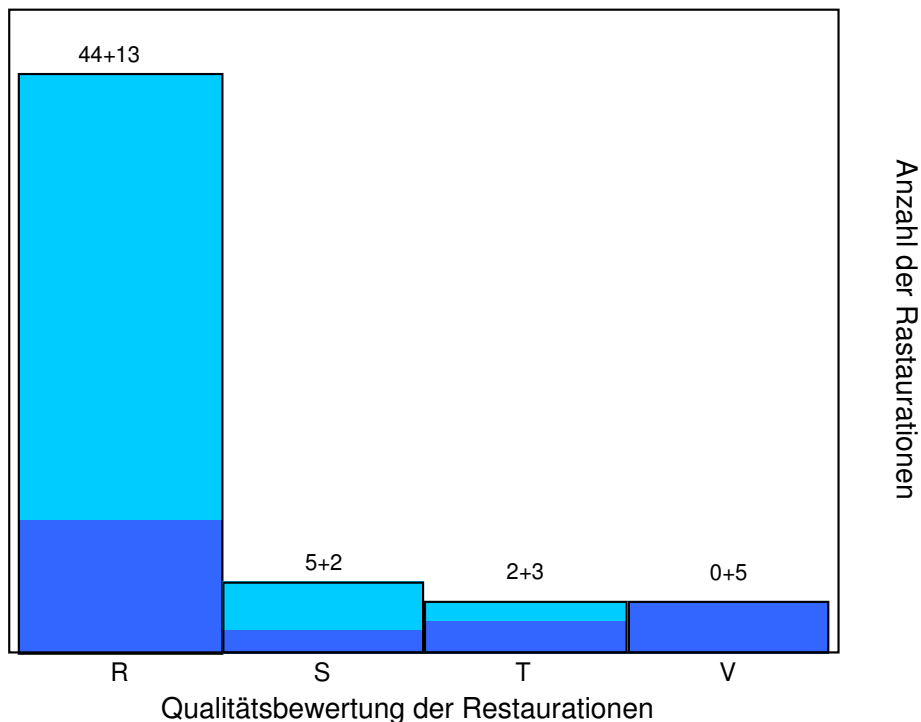


Abbildung 31 Verteilung der Qualitätsbewertungen bei maximaler Beobachtungszeit
 77% R=einwandfrei, 9,5% S=akzeptabel, 7,4% T=fraglich, 7,4% V=Misserfolg
 (Brückenkonstruktionen sind dunkelblau unterlegt) Auf den Balken findet sich die Anzahl der
 Kronen Plus die Anzahl der Brücken mit der jeweiligen Bewertung.

ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

Randpassung

Wie in Tabelle 8 ersichtlich, wurden bei den Untersuchungen zwischen 87% und 95% der Restaurationsränder mit Alpha beurteilt. Dies bedeutet, dass sie einwandfrei, also nicht sondierbar waren. Mit Bravo, also sondierbar ohne offen liegendes Dentin, wurden zwischen 5% und 9% der Restaurationsränder beurteilt. Das heißt, dass zwischen 96% und 100% der untersuchten Restaurationsränder einwandfrei oder akzeptabel waren.

Karies

An fünf Pfeilerzähnen kam es im Verlauf der Beobachtung zu einer Kronenrandkaries. Dies entspricht 6,0%. Vier von fünf wurden bei einer Patientin (maxZC-018) befundet.

Bei den mit RelyX befestigten Restaurationen trat keine Karies auf.

Bei den einzelnen Untersuchungen waren 94% bis 100% der untersuchten Restaurationen einwandfrei (s. Tabelle 8; *Seite 68*).

Farbunterschiede

Bei den Randverfärbungen waren, soweit sie beurteilbar waren, überwiegend einwandfrei. Im ersten Jahr war eine Restauration mit Charlie bewertet. Im dritten Jahr war eine und im vierten Jahr drei Restaurationen mit Bravo bewertet. Durch den teilweise subgingivalen Kronenrand kam es hier zu einer erhöhten nicht Beurteilbarkeit. Im Vergleich zu den Nachbarzähnen waren die Restaurationen farblich einwandfrei. Hier wiesen lediglich im ersten Jahr zwei und im dritten Jahr zwei Restaurationen einen leichten Farbunterschied auf.

Sondierungstiefen

In dieser Studie wurden bei allen Patienten an allen Zähnen mesial und distal Messwerte erfasst (s. 2.5.5. Qualitätsvariablen, *Seite 58*). Der niedrigste gemessene Wert lag bei 0mm, der höchste bei 11mm. Mesial waren 87% der Sulci an den Pfeilerzähnen 2-3mm sondierbar (Median 3mm; MW=2,8mm; SD=0,7mm), distal waren es 77% (Median 3mm; MW=3,0mm; SD=1,3mm). Bei den Referenzzähnen sah es ähnlich aus. Hier waren mesial 80% der Sulci 2-

ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

3mm sondierbar (Median 3mm; MW=2,9mm; SD=0,9mm), distal waren es 73% (Median 3mm; MW=3,0mm; SD=1,0mm). Zuerst wurden die mesialen und distalen Werte der Pfeilerzähne miteinander verglichen. Hier zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Auch beim Vergleich der mesialen und distalen Werte der Referenzzähne zeigte sich kein Unterschied. Daher wurden diese Werte zusammen betrachtet und nun die entstandenen Werte für Pfeilerzähne und Referenzzähne verglichen. Zwischen den Sondierungstiefen der Pfeilerzähne und der Referenzzähne zeigte sich hier kein statistisch signifikanter Unterschied (s. Abbildung 32).

BoP

Auch dieser Wert wurde jeweils mesial und distal erfasst. Es wurden ebenfalls BoP Werte an Referenzzähnen ermittelt. Die Werte der Referenzzähne stehen im Folgenden in Klammern. Bei 49,2% (51,1%) trat nach Sondierung keine Blutung im Sulkus auf. 26,3% (28,4%) wiesen einen BoP Grad 1 auf. BoP Grad 2 wurde bei 18,5% (14,8%) erfasst. 6,0% (5,7%) wiesen BoP Grad 3 auf.

Es zeigte sich weder bei Pfeiler- noch bei Referenzzähnen ein statistisch signifikanter Unterschied im mesial-distal Vergleich. Die Werte wurden daher zusammen betrachtet und die entstandenen Werte verglichen. Auch hier zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied (s. Abbildung 33).

ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

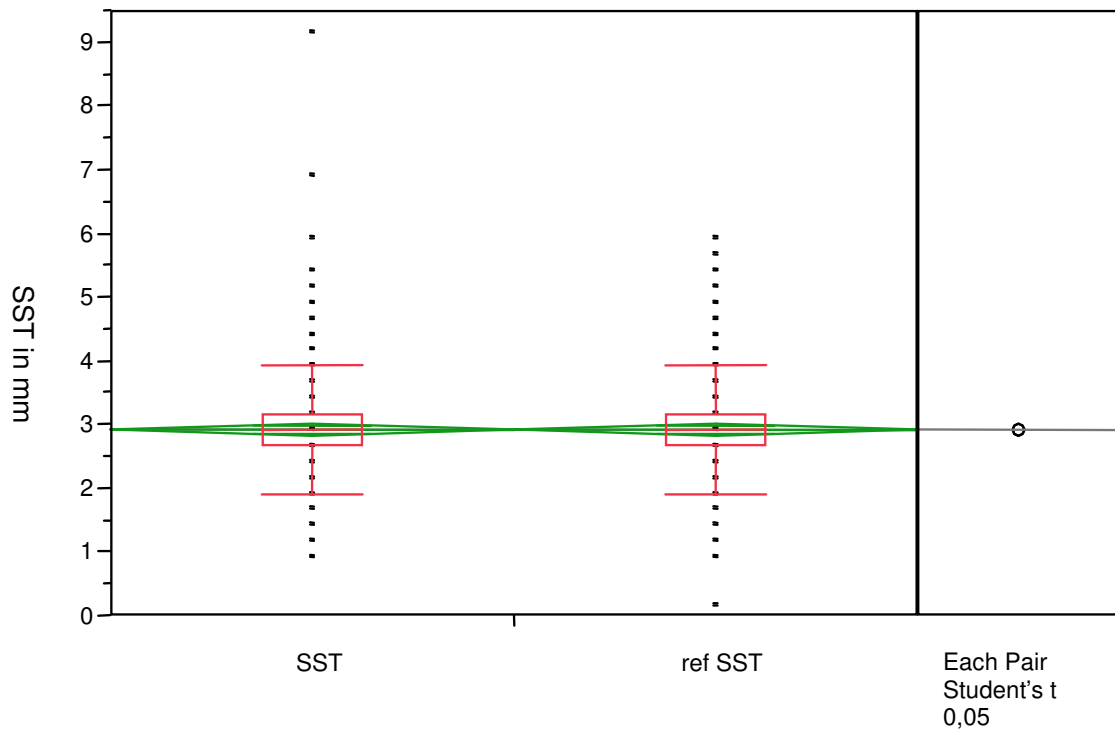


Abbildung 32 Vergleich der SST der Pfeiler- mit den Referenzzähnen. Es zeigt sich zwischen Pfeiler- und Referenzzähnen kein signifikanter Unterschied. Die Differenz zwischen ref SST-SST liegt bei 0,01.

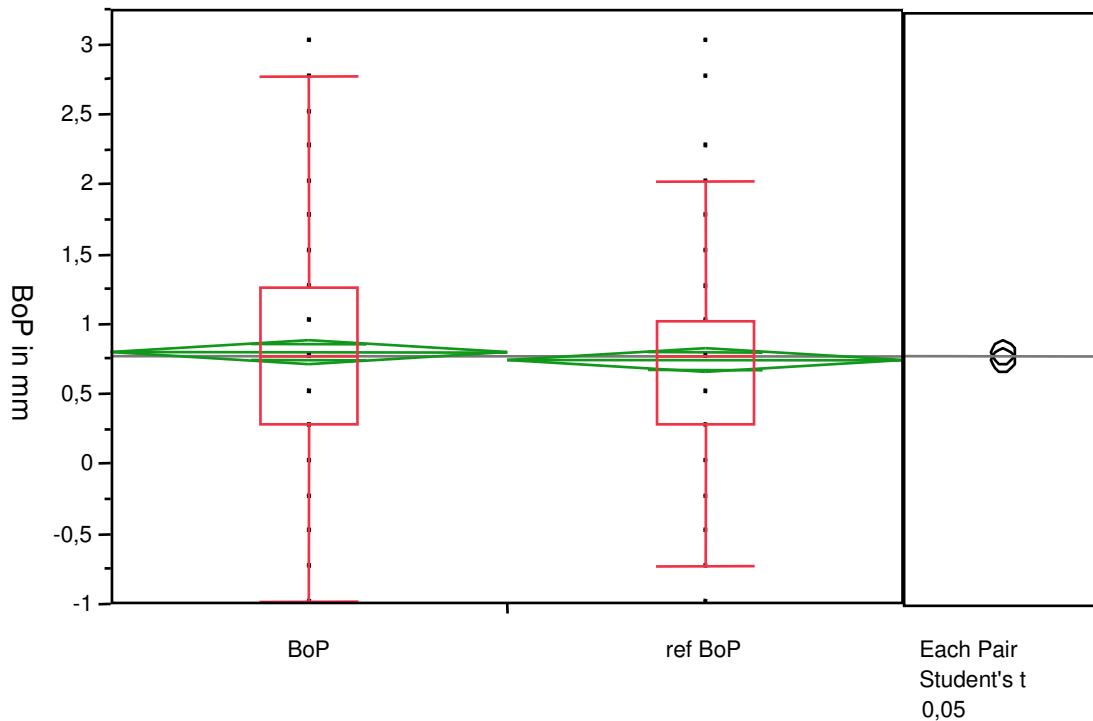


Abbildung 33 Vergleich BoP der Pfeiler- mit den Referenzzähnen. Es zeigt sich zwischen Pfeiler- und Referenzzähnen kein signifikanter Unterschied. Die Differenz zwischen ref BoP-BoP liegt bei 0,06.

ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

Sensibilität

Die 98 Pfeilerzähne wurden bei Behandlungsbeginn auf ihre Sensibilität überprüft. Hiervon waren 26 negativ. Dies entspricht 31,7%. Im Verlauf der Studie kam es bei einem Zahn zu einer endodontischen Inflammation mit Vitalitätsverlust.

Von den 15 Pfeilerzähnen der mit RelyX eingesetzten Konstruktionen waren 67% (n=10) positiv und 33% (n=5) negativ. Die Zähne mit negativer Sensibilität waren alle wurzelgefüllt.

DISKUSSION

4. Diskussion

Ein Vergleich mit Ergebnissen klinischer Beobachtungen ist für die Einordnung der klinischen Eignung eines Materials unabdingbar. In den vorangegangenen Kapiteln wurde die rasante Entwicklung der Dentalkeramiken im technologischen Sinne beschrieben. Trotz dieser Entwicklung gilt die metallkeramische Krone nach wie vor als überwiegendes Therapeutikum zur Restauration und zum Ersatz von Zähnen im sichtbaren Bereich. Die klinische Bewährung der metallkeramischen Krone ist in der Literatur gut dokumentiert: Studien belegen bei keramikverblendeten Kronen Überlebensraten von 89% nach 10 Jahren [70], 97% nach 5 – 10 Jahren [71], 100% nach 10 Jahren [72] und 96% nach 8 Jahren [73]. Bei keramikverblendeten Brücken zeigen Studien eine Überlebensrate von 99% nach 5 Jahren, 80% nach 10 Jahren [70] und 95% nach 8 Jahren [73].

Durch die Etablierung der verschiedenen 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. Bei In-Ceram-Kronen wird bei klinischen Beobachtungen über Erfolgsraten von 100% nach 3 Jahren [74] bzw. 99% nach 5 Jahren [75] berichtet. Bei In-Ceram Brücken im Prämolaren Bereich zeigten sich Erfolgsraten von 90% nach 5 Jahren [76] und 89% nach 3 Jahren [77] und 88% nach 6 Jahren [78], IPS-Empress 1 Kronen wurden mit Erfolgsraten von 98% nach 4 Jahren [79] und 95% nach bis zu 11 Jahren [80] untersucht. Eine Übersicht von El-Mowafy und Brochu gibt Erfolgsraten von 92% bis 99% nach 3 bis 3,5 Jahren an [81]. IPS-Empress 2 Kronen zeigten Überlebensraten von 100% nach 24 Monaten [82], 38 Monaten [83] und 60 Monaten [84]. IPS-Empress 2 Brücken bis 2 Prämolaren zeigten Überlebensraten von 94% 24 Monaten [85] und 70% nach 60 Monaten [84] (s. Tabelle 15; Seite 98).

Dem ersten Teil eines Reviews aus dem Jahre 2007 zufolge gibt es allgemein keine signifikanten Unterschiede zwischen Vollkeramik- und Metallkeramik-

DISKUSSION

Kronen (s. Tabelle 11 und Tabelle 12). 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 verstärkten Glaskeramik-Kronen (Empress) 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. 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 ($P=0,009$, $P=0.028$)[86].

Dem zweiten Teil des Reviews zufolge war die Überlebensrate von Metallkeramik-Brücken nach fünf Jahren mit 94,4% (95 CI: 91,1%-96,5%) signifikant höher als die von Vollkeramik-Brücken mit 88,6% (95 CI: 78,3%-94,2%) (s. Tabelle 13 und Tabelle 14). Die Frequenzen der Materialfrakturen (Gerüst- und Verblendmaterial) waren bei Vollkeramik-Brücken (6,5% und 13,6%) signifikant höher als bei Metallkeramik-Brücken (1,6% und 2,9%). Andere technische Komplikationen wie, Retentionsverlust oder biologische Komplikationen wie etwa Karies und Vitalitätsverlust des Zahnes waren bei beiden Rekonstruktionstypen ähnlich [62].

DISKUSSION

Tabelle 11 Kalkulierte Überlebensraten von Vollkeramik Kronen nach Pjetursson[86]

Studie	Jahr der Publikation	Anzahl der Kronen	Beobachtungszeitraum	Anzahl der Misserfolge	Geschätzte Überlebensrate nach fünf Jahren(%)
Dichtgesinterte Alumina					
• Galindo et al.	2006	135	4,6	5	96
• Naert et al.	2005	300	3	2	98,9
• Walter et al.	2006	107	6	6	95,1
• Ödman & Andersson	2001	87	7,6	5	96,3
• Odén et al.	1998	100	5	6	94
Glaskeramik					
• Malament & Socransky	2006	1061	7,9	177	90
• Bindl & Mörmann	2004	18	3,4	1	92,8
• Scherrer et al.	2001	30	3,4	4	82,2
• Erpenstein et al.	2000	173	7	42	84,1
• Sjörgen et al.	1999	98	6,1	13	89,7
• Kelsey et al.	1995	101	4	16	81,4
• Bieniek	1992	164	3,6	8	94
• Cheung	1991	34	3,3	5	80,3
Verstärkte Glaskeramik					
• Malament & Socransky	2006	954	3,9	33	95,7
• Marquardt & Strub	2006	27	3,2	0	100
• Fradeani & Redemagni	2002	125	7,3	6	96,8
• Edelhoff et al.	2000	250	4,2	5	97,6
• Sjörgen et al.	1999	110	3,6	6	92,7
• Sorensen et al.	1998	75	3	1	97,8
• Studer et al.	1998	142	5	14	90,6
InCeram					
• Malament &	2006	312	7,2	34	92,7

DISKUSSION

Socransky					
• Bindl & Mörmann	2004	18	3,4	1	92,8
• Bindl & Mörmann	2002	43	3,2	3	90
• Fradeani & Redemagni	2002	40	4,2	1	97,1
• Segal	2001	546	3	5	98,4
• Scherrer et al.	2001	120	3	12	84
• McLaren & White	2000	223	3,6	9	94,6
• Haselton et al.	2000	80	3	2	95,9
• Pröbster	1997	135	3,3	4	95,6
• Scotti et al.	1995	63	3,1	1	97,5
• Hüls	1995	335	3	3	98,5
Gesamt		6006	4,9	430	
Durchschnittliche Schätzung (95% CI)					93,3 (91,1-95)

Tabelle 12 Kalkulierte Überlebensraten für Metallkeramik-Kronen nach Pjetursson[86]

Studie	Jahr der Publikation	Anzahl der Kronen	Beobachtungszeitraum	Anzahl der Misserfolge	Geschätzte Überlebensrate nach fünf Jahren(%)
• Braegger et al.	2007	106	17	28	91,6
• Reitmeier et al.	2006	190	7	7	97,3
• de Backer	2006	1037	10	116	94,6
• Marklund et al.	2003	42	5	3	92,4
• Walton	1999	347	7,1	12	97,1
• Jokstad & Mjör	1996	43	10	0	100
Gesamt		1765	9,2	166	
Durchschnittliche Schätzung (95% CI)					95,6 (92,4-97,5)

DISKUSSION

Tabelle 13 Kalkulierte Überlebensraten für Vollkeramik-Brücken nach Sailer[62]

Studie	Jahr der Publikation	Anzahl der Brücken	Beobachtungszeitraum	Anzahl der Misserfolge	Geschätzte Überlebensrate nach fünf Jahren(%)
• Sailer et al.	2007	57	4,5	12	75,1
• Raigrodsky et al.	2006	13	3	0	100
• Tinschert et al.	2005	65	3,2	0	100
• Wolfart et al.	2005	36	4	0	100
• Marquardt & Strub	2006	31	4,2	6	79,3
• Suárez et al.	2004	18	3	1	91
• Olsson et al.	2003	42	6,3	5	91
Vult von Steyern et al.	2001	20	5	2	90
• Sorensen et al.	1998	61	3	7	80,9
Gesamt		343	3,8	33	
Durchschnittliche Schätzung (95% CI)					88,6 (78,3-94,2)

Tabelle 14 Kalkulierte Überlebensraten für Metallkeramik-Brücken nach Sailer[62]

Studie	Jahr der Publikation	Anzahl der Brücken	Beobachtungszeitraum	Anzahl der Misserfolge	Geschätzte Überlebensrate nach fünf Jahren(%)
• de Backer et al.	2006	322	11,4	69	91
• Hochmann et al.	2003	49	6,3	6	91,2
• Walton	2002 2003	515	7,4	37	94,6
• Näpänkangas et al.	2002	204	7,6	7	97,7
• Reichen-Graden & Lang	1989	73	6,4	2	97,9
Gesamt		1163	8	121	
Durchschnittliche Schätzung (95% CI)					94,4 (91,1-96,5)

DISKUSSION

Tabelle 15 Übersicht klinischer Studien zur Überlebens- und Erfolgsrate von metallkeramik und vollkeramik Kronen und Brücken

Autor	Material	Jahr	Dauer in Monaten	Überlebensrate/ Erfolgsrate in %
Kerschbaum	VMK Kronen	1997	120	89
	VMK Brücken	1997	60	99
	VMK Brücken	1997	120	80
Walton	VMK Kronen	1999	60-120	97
Napankangas	VMK Kronen	1997	120	100
Reitmeier	VMK Kronen	2007	96	96
Reitmeier	VMK Brücken	2007	96	95
Pröbster	In-Ceram Kronen	1993	35	100
Segal	In-Ceram Kronen	2001	72	99
Vult von Streyern	In-Ceram Brücken	2001	60	90
Sorensen	In-Ceram Brücken	1998	36	89
Olsson	In-Ceram Brücken	2003	72	88
Edelhoff	IPS Empress 1 Kronen	2000	48	98
Fradeani	IPS Empress 1 Kronen	2002	132	95
EI Mowafy/Brochu	IPS Empress 1 Kronen	2002	36-42	92-99
Taskonak	IPS Empress 2 Kronen	2006	24	100
Zimmer	IPS Empress 2 Kronen	2004	38	100
Marquardt	IPS Empress 2 Kronen	2006	60	100
Pospiech	IPS Empress 2 Brücken	2000	24	94
Marquardt	IPS Empress 2 Brücken	2006	60	70

Wie jede Therapie hat auch der Zahnersatz typische Nebenwirkungen, durch die er in seiner biologischen und mechanischen Wertigkeit charakterisiert werden kann. Zu den wichtigsten unerwünschten Nebenwirkungen bei festsitzendem Zahnersatz gehören:

- Karies am Kronenrand
- parodontale Komplikationen im gingivalen Rand- und Konturbereich einer Krone oder des Brückengliedes, an den approximalen Kontaktzonen (Speiseimpaktierung)
- Sensibilitätsverlust im Anschluss an die Präparation inklusive der Folgeerscheinungen (apikale Parodontitis), Notwendigkeit der endodontischen Behandlung
- mangelnde Ästhetik (verfärbte, verschlissene oder abgeplatzte Verblendung)

DISKUSSION

- Störung der statischen und dynamischen Okklusion durch unpräzise Kauflächengestaltung
- Gefahr der Pfeilerzahn- und/oder Zwischengliedsfraktur

Traumata, übermäßige und ungünstige Okklusions- und Artikulationskontakte, Fehler bei der Stumpfpräparation, der Gerüstanfertigung und beim Keramikbrand, sowie bei der Anprobe am Patienten können zu vermehrten Frakturen führen [65].

Diese Punkte führen zur Notwendigkeit regelmäßiger Kontrollen und ggf. Nachsorgemaßnahmen (etwa Flouridierung, Patientenedukation, Polituren etc.). Um einen Werkstoff zusätzlich bezüglich seiner biologischen und mechanischen Eigenschaften zu bewerten müssen die genannten Punkte kritisch und objektivierbar beobachtet werden.

Siehe dazu Kapitel 1.8. Biologische Einflussgrößen und Variablen (*Seite 38*) sowie Kapitel 2.3. Nachuntersuchung der Restaurationen (*Seite 53*)!

DISKUSSION

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Leistungsbeurteilung von Einzelkronen und Brücken auf Basis des Zirkoniumoxids IPS e.max-ZirCAD im mittelfristigen klinischen Verlauf.

Ihr liegen Daten von 24 Patienten mit 74 Restaurationen zugrunde. Die Eingliederung der Arbeiten erfolgte in einem Zeitraum von ca. 5 Jahren (Mai 2006 – Februar 2011) in der Abteilung Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Sektion „Medizinische Werkstoffkunde & Technologie“ am Zentrum für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde in Tübingen. Eine Nachuntersuchung erfolgte mindestens einmal, ca. 12 Monate nach Eingliederung, wobei der mittlere Beobachtungszeitraum bei 48 Monaten lag.

Der Werkstoff Zirkoniumdioxid ist ausreichend in in-vitro Studien untersucht, und wurde ebenso mit in-vivo Studien beobachtet [9-14, 87-89]. Das Ziel dieser Studie war es, die in ihr gewonnenen Ergebnisse mit schon vorhandenen Studien zu vergleichen, und den Werkstoff IPS e.max ZirCAD auf seine klinische Relevanz hin zu prüfen.

In dieser Studie wurde die Überlebenswahrscheinlichkeit der Restaurationen mit der Kaplan-Meier-Methode [90] an Hand der Kriterien beschrieben. Dazu wurde eine Auswertung aller und einer randomisierten Gruppe [91] durchgeführt

4.1. IPS e.max[®] ZirCAD - Vollkeramiksystem

Das IPS e.max[®]-System ist ein Vollkeramik-System für die Press- und CAD/CAM-Technologie und umfasst Materialien aus Lithium-Disilikat und Zirkoniumdioxid. Eine universell einsetzbare Nano-Fluorapatit-Glaskeramik steht ergänzend zur Verblendung aller IPS e.max System-Komponenten zur Verfügung. In verschiedenen Studien [87, 88, 92] zeigten sich Überlebensraten von 93,7%.

Die Ausfälle umfassten 2,7% irreparable Chippings, 2,4% Frakturen, 0,9% endodontisches Versagen. Stanford beobachtete in einem Zeitraum von 36 Monaten bei 50 Kronen 2 Frakturen und 5 Chippings, die jedoch alle poliert

DISKUSSION

werden konnten. Bei den Brücken wurden zwei Frakturen (davon eine Dezementierung mit Neuanfertigung) und zwei Fälle von Chipping, auch diese durch Politur reparierbar, berichtet. Bei 20 von Sorensen in einem Zeitraum von ca. 48 Monaten beobachteten Brücken, traten nur zwei kleine Chippings auf. Fasbinder untersuchte 31 Kronen und 10 Brücken 3 Jahre lang. Es versagte bei einer Krone das Gerüst, bei den Brücken gab es ein Versagen aufgrund einer endodontischen Behandlung. Bei fünf Jahren Beobachtungszeitraum bei 50 Kronen und 18 Brücken beschreibt Beuer keine Ausfälle bei den Kronen, lediglich ein Chipping. Bei den Brücken kam es zu 5 Chippings und einer Neuanfertigung aufgrund wiederholter Dezementierung. Bei 33 von Christensen beobachteten Brücken traten nach zwei Jahren 1 Fraktur der Verblendung mit Neuanfertigung, sowie eine Reihe von Abplatzungen, die problemlos poliert werden konnten. Munoz ersetzte bei 42 Kronen nach zwei Jahren lediglich zwei Kronen wegen einer Verblendfraktur. Bei Hicklin traten nach 19,4 Monaten keine Gerüstfrakturen bei 40 Restaurationen auf. Mehrere lokale Chippings wurden durch polieren ausgebessert [92].

In einer in vitro Studie von Guess (2009) zeigte sich, daß die Verblendtechnik (überpresst mit IPS e.max ZirPress oder geschichtet mit IPS e.max Ceram) keinen Einfluss auf die Dauerbelastbarkeit von IPS e.max ZirCAD hatte. Frakturen wurden nur in der Verblendung beobachtet. Es traten keine Gerüstfrakturen auf [92].

4.2. Vergleich von Patienten und Versorgungen

Vergleicht man das Patientengut und die Verteilung der Konstruktionen der vorliegenden Studie mit vorhandenen Daten aus der Literatur, so zeigt sich, dass die Geschlechterverteilung eine Mehrzahl an weiblichen Patienten vorweist. Es gibt sowohl Studien mit einer Mehrzahl an anterioren Restaurationen sowie Studien mit einer Mehrzahl an posterioren Restaurationen. Die vorliegende Studie zeigt eine Mehrzahl an posterioren Restaurationen. Bei einer Betrachtung der Verteilung in Ober- und Unterkieferrestaurationen zeigt sich, dass es eine weitgehende Ausgeglichenheit von Ober- und Unterkieferrestaurationen gab. Die Vitalität der

DISKUSSION

Zähne ist in der vorliegenden Studie vergleichbar mit anderen Studien. In zwei Studien waren mehr Zähne devital [93, 94]. In diesen beiden Studien wurden allerdings zum Großteil Oberkiefer Frontzähne versorgt. Die restlichen Studien haben, vergleichbar mit der Vorliegenden, mehr vitale Zähne versorgt, teilweise sogar deutlich mehr (zwischen 80% und 90% vitale Zähne. S. Tabelle 16). Auch beim Alter der Patienten reiht sich die vorliegende Studie in die vorhandenen ein. Das Durchschnittsalter der Vergleichsstudien beläuft sich auf 46,5 Jahre (s. Tabelle 16 und Abbildung 34).

Tabelle 16 Liste der Vergleichsstudien in den Bereichen Geschlecht, Verteilung anterior/posterior, Verteilung OK/UK, ViPr, Alter.

Autor	Jahr	M in %	F in %	Vital in %	Alter in Jahren	Anterior in %	Posterior in %	OK in %	UK in %
Pröbster	1993	47,6	52,4	71,6	36,6	34,4	65,6	62,3	37,7
Olsson	2003	35,1	64,9	84,6	54,7	38,1	61,9	76,9	23,1
Fradeani	2002	23	77	42,5	48,3	100	0	90	10
Groten	2010	28	72	90	45	46	54	76	24
Dhima	2014	30,5	69,5	84	55	63,7	36,3	73	27
Schmitt	2009	66,6	33,3	77,8	52,2	0	100	44,4	55,6
Cehreli	2009	45	55	53,3	36,1	0	100	50	50
Rinke	2011	38,8	61,2	80,4	49	0	100	46	54
Schmitt	2010	40	60	42,1	42,1	100	0	100	0
Said	2014	37,5	62,5	68	43,8	26,3	73,7	53,7	46,3

DISKUSSION

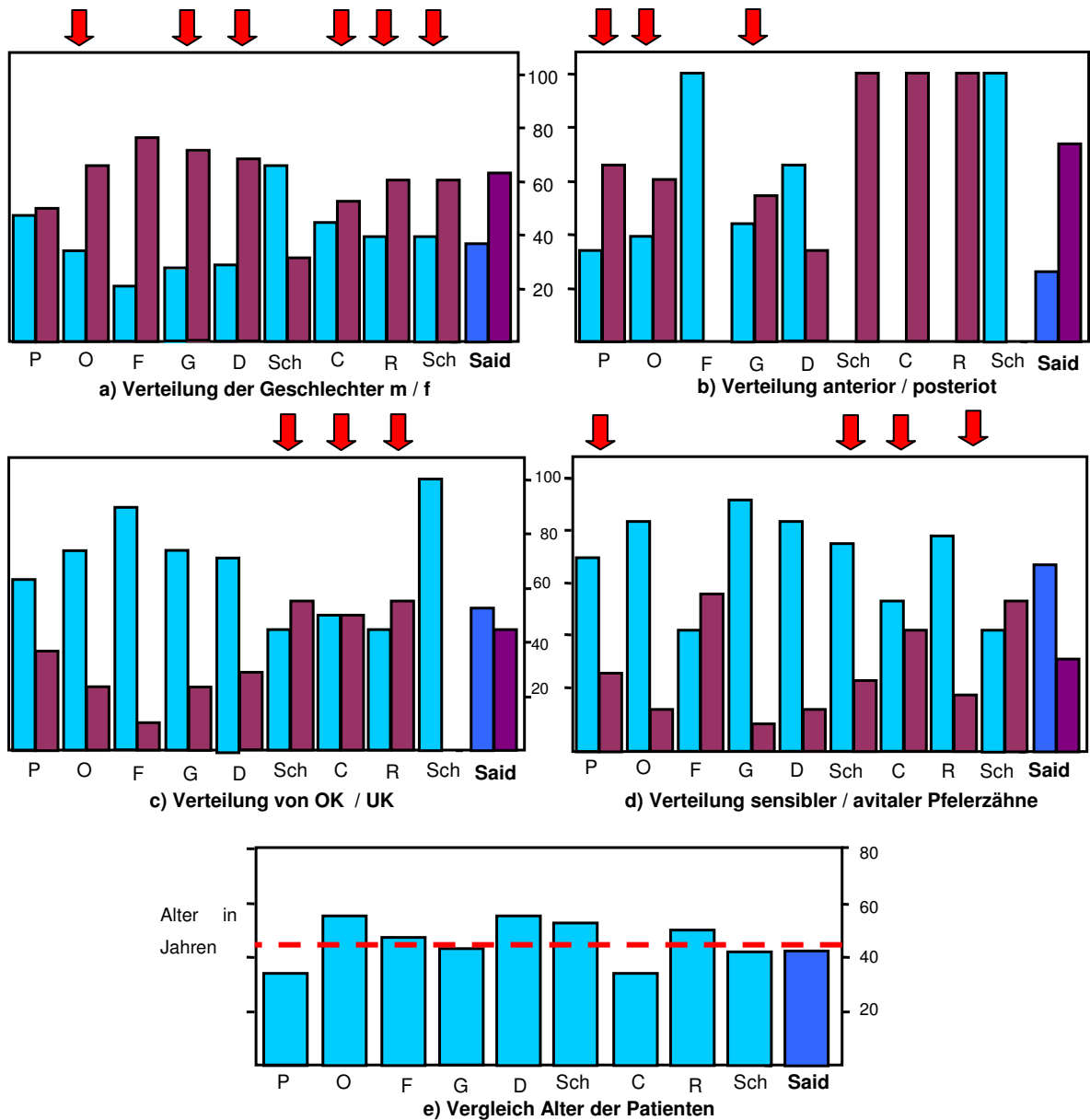


Abbildung 34 Vergleich der vorliegenden Studie (Said) hinsichtlich der relativen Häufigkeit von Geschlecht, Topographie, Sensibilität und Alter in den Kohorten. Die roten Pfeile zeigen zur vorliegenden vergleichbare Studien hinsichtlich dieser Einflussvariablen an. a) Es zeigt sich, dass die meisten Studien mehr weibliche Patienten vorweisen (blau=m; lila=f). **b)** Drei Studien untersuchten nur posteriore (lila), zwei nur anteriore (blau) Restaurationen. **c)** Sechs Studien wiesen deutlich mehr OK Restaurationen auf. **d)** Bei der Sensibilität wiesen bis auf eine Studie alle Studien mehr vitale Pfeilerzähne auf. **e)** Die rote Linie zeigt das Durchschnittsalter der Vergleichsstudien (46,5 Jahre). Das Durchschnittsalter der Vorliegenden Studie liegt mit 43,8 leicht darunter. Referenzen der Abkürzungen: P=[74], O=[78], F=[93], G=[95], D=[96], Sch=[49, 94], C=[50], R=[97]

DISKUSSION

4.3. Ergebnisse

In der vorliegenden Studie ging eine Konstruktion im Beobachtungszeitraum zu Verlust. Es traten keinerlei Gerüstfrakturen oder Dezementierungen auf.

Es wurden 12 Ereignisse an 12 Konstruktionen (3 Kronen, 9 Brücken) bei 6 Patienten beobachtet.

Bei den Kronen wurden bei einer Patientin (maxZC-018) an zwei verschiedenen Kronen ein chip-off, welches nach Politur ein upgegradetes CDA-ranking „Sierra“ erhielt sowie ein sondierbarer Kronenrand mit CDA-ranking „Tango“ beobachtet. Bei einer weiteren Patientin (maxZC-003) kam es zu einer endodontischen Komplikation mit Trepanation und erfolgreicher Wurzelbehandlung.

Dies entspricht einer Komplikationsrate von 8,3% bei allen Kronen und von 8,9% bei den mit multilink befestigten Kronen.

Es trat kein Versagen auf, sodass die Erfolgsrate nach 48 Monaten bei 100% liegt (s. Tabelle 9; Seite 86). Diese 3 Komplikationen traten bei 2 von 17 Patienten auf. 2 dieser 3 Komplikationen traten bei Patientin maxZC-018 auf, bei welcher an 7 von 9 Konstruktionen (Kronen und Brücken) Ereignisse beobachtet wurden.

Bei den Brücken wurden drei Ereignisse als Komplikation eingestuft. Dies waren bei einer Patientin (maxZC-018) an zwei verschiedenen Konstruktionen sondierbare Kronenränder mit CDA-ranking „Tango“, sowie bei einem weiteren Patienten (maxZC-002) ein chip-off, welches nach Politur ein upgegradetes CDA-ranking „Sierra“ erhielt.

Sechs Ereignisse wurden als Misserfolg bewertet. Dabei handelt es sich um drei Kronenrandkaries an drei verschiedenen Konstruktionen bei einer Patientin (maxZC-018), zwei Verblendfrakturen bei zwei verschiedenen Patienten (maxZC-006 und maxZC-016) sowie einer PA bei einer weiteren Patientin (maxZC-001).

DISKUSSION

Daraus ergibt sich eine Komplikationsrate von 37,5% bei allen Brücken und von 41,2% bei den mit multilink befestigten Brücken.

Die Erfolgsrate in der vorliegenden Studie beträgt nach 24 Monaten 96% bei allen Brücken und 95% bei den mit multilink befestigten Brücken. Auf 48 Monate beträgt die Erfolgsrate 77% bei allen Brücken und 75% bei den mit Multilink befestigten Brücken (s. Tabelle 9; *Seite 86*).

Die Ergebnisse der Kronen fügen sich in die wenigen klinischen Untersuchungen zu zirkoniumdioxidbasierten Kronen ein [87, 94, 95, 98].

Die anatomische Höckerunterstützung scheint die Anzahl der chip-offs wesentlich zu verringern. Da die einzig vergleichbare Arbeit von Beuer et.al. 2010 ohne diese technische Variation eine wesentlich höhere Rate (allein 7,4% chip-offs in mittlerer Beobachtungszeit von 40 Monaten) verzeichnet und dies auch kritisch diskutierte[87]. Die Prävalenz von chip-offs lag bei Beuer bei den Brücken bei 27,8% und bei den Kronen bei 2%. In der vorliegenden Studie lag die Prävalenz von chip-offs bei Brücken bei 8,7%, bei den Kronen bei 2%.

Bei Groten & Hüttig 2010 traten gleichwohl 2 Verblendfrakturen und 2 chip-offs bei den 54 beobachteten Kronen auf (Prävalenz 7,4% in medianer Beobachtungszeit von 24 Monaten) [95]. Rinke beobachtete 2011 ein chip-off bei 46 Kronen (Prävalenz 2,2% in mittlerer Beobachtungszeit von 18 Monaten) [97]. 2013 beobachtete derselbe Autor bei 52 Kronen zwei chip-offs (Prävalenz 3,8% in mittlerer Beobachtungszeit von 36,5 Monaten) [99]. Bei Schmitt kam es zu einem chip-off bei 17 Kronen (Prävalenz 5,9% in mittlerer Beobachtungszeit von 39,2 Monaten) [94]. Poggio beobachtete bei 101 Kronen zwei chip-offs (Prävalenz 2% in medianer Beobachtungszeit von 16 Monaten) [100]. Besonderheit war die Tangentialpräparation sämtlicher Kronen, welche demnach wohl keinen Einfluss auf die Prävalenz des chip-offs hat.

Auch die Ergebnisse der Brücken fügen sich in die klinischen Untersuchungen zu zirkoniumdioxidbasierten Brücken ein[47, 49, 51, 55, 61, 88, 101, 102]. Von

DISKUSSION

den 86 Komplikationen aus 11 Studien mit Brücken in einem Review von Raigrodski [101] sind fast die Hälfte chip-offs (n=41 von 86)!

Hervorzuheben bleibt, dass 8 der 23 Brücken in der vorliegenden Studie im Cantilever-Design gestaltet sind.

Diese kritisch diskutierte Versorgungsform [103, 104] zeigte in unserer Untersuchung eine Komplikation bei Patientin maxZC-018! Diese war allerdings eine Randkaries an einem Pfeilerzahn, welche ein "Treatment Bias" oder ein "Patient Bias" darstellen könnte.

Bezüglich der Sulkussondierungstiefen lässt sich festhalten, dass es keine Unterschiede zwischen den Sondierungstiefen der Pfeiler- und der Referenzzähne gab. Auch im Vergleich zwischen den Kronen und Brücken, die mit multilink bzw. RelyX eingesetzt wurden, zeigte sich kein Unterschied bei den Sondierungstiefen.

Dasselbe gilt für den BoP. Auch hier zeigten sich weder im Vergleich zwischen den Pfeiler- und den Referenzzähnen, noch zwischen den mit unterschiedlichem Befestigungsmaterial eingesetzten Kronen und Brücken Unterschiede.

Die parodontalen Parameter zeigten weder im zeitlichen Verlauf, noch im Vergleich mit Referenzzähnen einen Unterschied.

Dies korreliert mit den Ergebnissen anderer Studien [45, 47-51, 102], und lässt darauf schließen, dass weder die Kronenränder, noch das Befestigungsmaterial einen negativen parodontalen Einfluss aufweisen.

6 Ereignisse dieser Studie erforderten eine Neuherstellung. Hierbei handelte es sich um zwei Verblendfraktur, drei Randkaries und ein PA-Problem. Betroffen waren vier Patienten.

Diese Anzahl der Komplikationen ist kritisch zu betrachten, da bei allein einer Patientin (maxZC-18) 7 der 12 Komplikationen beobachtet wurden (s. Tabelle 13, Seite 61). Insgesamt traten bei dieser Patientin an 78% (7 von 9) der Konstruktionen Komplikationen auf. Da der Behandler dieser Patientin keine weiteren Patienten der Kohorte versorgt hat, kann es sich um einen "Treatment

DISKUSSION

Bias“ handeln. Es kann aber auch von einem “Patient Bias“ handeln. Ohne diese Patientin würde die Versagensrate von Brücken nur 10% und die Komplikationsrate 17,5% betragen.

Gleiches gilt bei den Kronen: Hier würde eine Komplikationsrate von 3,8% auf 48 Monate resultieren. Des Weiteren bestand bei Patientin „maxZC-006“ ein ausgeprägter Bruxismus ohne Schienentherapie, was die Verblendfraktur begründen kann (s. Abbildung 18)[105].

Mit der randomisierten Kaplan-Meier-Schätzung können eventuelle Fehlindikationen oder Fehlverhalten seitens der Patienten (schlechte Mundhygiene, nicht tragen einer Schiene etc.) statistisch kompensiert werden. Bei der randomisierten Kaplan-Meier-Schätzung kam es zu Komplikationsraten von 0% für Kronen für 16,7% bei Brücken, weshalb dies die klinisch relevante Schätzung sein kann.

Trotzdem bleibt das chip-off ein Problem. Bei zirkoniumdioxidbasierten Restaurationen beträgt die berichtete Rate 3% bis 35% [101]. Hierbei sind höhere Raten häufig den frühen (noch nicht ausgereiften) Systemen geschuldet.

Vergleicht man diese Zahlen mit der chip-off Rate bei metallbasierten VMK-Brücken im Beobachtungszeitraum von zehn Jahren, verdeutlicht sich diese Problematik [62, 106-108]:

- | | |
|----------------------------------|------|
| ▪ Näpänkangas (2002) | 5,9% |
| ▪ Walton (2003) | 5,0% |
| ▪ Behr (2012) | 4,3% |
| ▪ Sailer (2007, 5-Jahres Review) | 2,9% |

Die Prävalenz von 13% (15,8% multilink) bei den Brücken der vorliegenden Studie ergibt sich aus einem chip-off und zwei Verblendfrakturen. Rechnet man die Verblendfraktur (maxZC-006) aus o.g. Gründen raus, sind es 9,5% (11,8% multilink).

DISKUSSION

Zusammenfassend ist das System im oberen Mittelfeld der momentanen Datenlage von vergleichbaren Restaurationen einzuordnen.

Betrachtet man die Qualitätsbewertung, so zeigt sich, dass im Bereich Randpassung, Karies und Farbunterschied sehr gute Werte zwischen 87% und 100% erreicht wurden. Im Bereich Randverfärbung liegt, aufgrund subgingivaler, nicht beurteilbarer Ränder (N=27%), der Wert bei 74% bis 94% (s. Tabelle 10; Seite 86). Es zeigte sich ebenfalls, dass in den Bereichen BoP und SST die Restaurationen keinen negativen Einfluss haben. Auch spielte es hinsichtlich der beobachteten Ereignisse in der vorliegenden Studie keine Rolle, ob die versorgten Zähne wurzelbehandelt waren oder nicht.

4.4. Schlussfolgerung

Der Erfolg hängt – den Ergebnissen folgend – wesentlich von Indikationsstellung und klinischer Umsetzung durch den Behandler ab. Zur Minimierung technischer Komplikationen ist zwar die herstellerkonforme zahntechnische Umsetzung, insbesondere anatomische Höckerunterstützung und individualisierte Brandführung bei Verblendung in Schichttechnik maßgeblich. Des Weiteren ist es erforderlich, falls vor dem Einsetzen die Okklusion oder Approximalkontakte eingeschliffen werden mussten, diese mindestens zu polieren. Ideal ist ein erneuter Glanzbrand, da dieser die Chip-off Rate signifikant verringert [109]. Auch die klinische Nachsorge – insbesondere beim Auftreten von Bruxismus im langfristigen Verlauf beeinflusst den Erfolg. Letztere betrifft Patienten bei steigenden psychischen Belastungen im Alltag sowie im Wechsel der Lebensabschnitte immer häufiger.

Die Leistungsfähigkeit des Gerüstwerkstoffes Zirkoniumdioxid stellt sich, entsprechend den in-vitro Versuchen, hervorragend dar. Keine der Konstruktionen erlitt eine Gerüstfraktur, was der Literatur entspricht [101].

Die adhäsive Befestigung der Konstruktionen kann ebenfalls als erfolgreich bezeichnet werden, da es zu keinerlei Retentionsverlust von Konstruktionen kam, und auch die Parodontalbefunde blande sind.

Zirkoniumdioxid wies als keramisches Gerüstmaterial für Kronen eine sehr gute, und für Brücken eine gute Leistung bei vier Jahren unter Funktion auf[110]. Es

DISKUSSION

kam zu keiner Gerüstfraktur. Für Kronen lässt sich sagen, dass sie, in Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse, durchaus als zuverlässige Alternative zu VMK Kronen zu betrachten sind.

ZUSAMMENFASSUNG

5. Zusammenfassung

Durch die verstärkte Nachfrage hat sich in den letzten Jahren eine Vielzahl von Vollkeramik-Systemen am Markt positioniert. In der Literatur finden sich jedoch nur Ergebnisse zur klinischen Bewährung von wenigen Systemen über kurz- und mittelfristige Verläufe (bis zu 5 Jahren). Eine Lücke findet sich unter anderem beim System *IPS e.max-ZirCAD*, eines Marktführers der Vollkeramik. Die vorliegende Studie soll Daten zur Leistungsfähigkeit dieses Systems, silikatkeramisch in Schichttechnik verblendeter Zirkoniumdioxidgerüste, liefern. 24 Patienten, welche mit 51 Kronen sowie 23 Brücken behandelt waren, wurden bei Nachuntersuchungen mittels modifizierter CDA-Kriterien fortwährend evaluiert. Alle Patienten wurden dabei entsprechend dem state-of-art in der Vollkeramik behandelt und die Konstruktionen gem. Herstellerangaben gefertigt. 42 Kronen sowie 19 Brücken wurden mit dem empfohlenen Befestigungskomposit-System *multilink automix* adhäsiv eingesetzt. 9 Kronen sowie 4 Brücken wurden mit konventionellen Hybridzement *Rely X Unicem* eingesetzt.

In einem mittleren Beobachtungszeitraum von 48 Monaten zeigen die untersuchten Kronen eine Komplikationsrate von 6,7%, verursacht durch ein endodontisches Problem nach 47 Monaten, ein chip-off, sowie einen sondierbaren Kronenrand. Die adjustierte 4-Jahres-Komplikations- und Überlebensrate beträgt 0% resp. 100% für Kronen.

Die untersuchten Brücken zeigten im selben Zeitraum eine signifikant höhere Zahl an Komplikationen: 5 technische und 4 biologische. Dass in der vorliegenden Kohorte 50% der schweren Komplikationen (SAE) an den Restaurationen eines Patienten gefunden wurden, stellt einen möglichen Bias dar. Dieser kann als Behandlungsfehler interpretiert werden, entweder hinsichtlich Indikation oder Verarbeitung der Medizinprodukte.

Die validierte Komplikationsrate der Brücken beträgt 0% nach 24 Monaten und 16,7% auf 48 Monate (randomisierte Kaplan-Meier-Schätzung).

Verglichen mit anderen zirkoniumdioxidbasierten Systemen ordnet sich dieses System hinsichtlich klinischer Performanz mit „gut“ in das obere Mittelfeld ein.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geburtsdatum	15.November 1976
Geburtsort	Stuttgart
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	verheiratet, 3 Söhne
Vater	Mohammad Said
Mutter	Rafah Kerdo

Ausbildung

1983 – 1987	Grundschule Kaltental
1987 – 1997	Fanny-Leicht-Gymnasium
1997 – 1998	Zivildienst beim Stadtjugendring Stuttgart
1998 – 1999	verschiedene berufliche Tätigkeiten
1999 – 2006	Studium der Zahnmedizin Eberhard Karls Universität Tübingen
06. April 2006	Zahnärztliche Prüfung

Berufliche Tätigkeit

2006 – 2008	Zahnarzt Praxis Dr. Fendt, Deißlingen
2008 – 2010	Zahnarzt Praxis Christian Connert, Geislingen bei Balingen
2010 – 2011	Zahnarzt in eigener Praxis
seit 10/2011	Wissenschaftlicher Mitarbeiter Schwerpunkt: Betreuung Postgraduierten-Programm gem. DGPro UKT ZZMK Tübingen/ Prothetische Abteilung

LITERATUR

1. Pospiech, P., *Keramik - Vollkeramik Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin*. 3M Espe, 2004.
2. Pischel, J., *20 Jahre CAD/CAM - Die Revolution steht nun vor der Tür*. Die Zahnarzt Woche, 2006.
3. Pröbster, L., *Sind Vollkeramische Kronen- und Brücken wissenschaftlich anerkannt*. Stellungnahme der DGZMK, 2001.
4. van Dijken, J.W.V., *All-Ceramic Restorations: Classification and Clinical Evaluations*. Compendium, 1999.
5. Strub, J.R., *Vollkeramische Systeme*. Dtsch Zahnarztl Z, 1992. **47**: p. 566.
6. Körber, K. and K. Ludwig, *Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie*. 1993: Thieme.
7. Ertl, T., Völkl, L., Lange, G., *Cercon smart ceramics - das CAM - gestützte Vollkeramiksystem*, in *Wissenschaftliche Untersuchung*. 2003.
8. Maier, H.R., *Leitfaden Technische Keramik; Werkstoffkunde II, Keramik*. 2005, Institut für keramische Komponenten im Maschinenbau Aachen.
9. Filser, F., Lüthy, H., Kocher, P., Schärer, P., Gaukler, L.J., *Vollkeramischer Zahnersatz im Seitenzahnbereich*. Quintessenz Zahntech, 2002. **28**(1).
10. Hauptmann, H., Suttor, D., Frank, S., Höscheler, H., *Material properties of all ceramic zirconia prostheses*. J Dent Res, 2000. **79**.
11. Rosentritt, M., Behr, M., Lang, R., Kleinmayer, S., Handel, G., *Fracture strength of tooth colored posterior fixed partial dentures*. J Dent Res, 2001. **80**(57).
12. Tinschert, J., et al., *Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study*. Int J Prosthodont, 2001. **14**(3): p. 231-8.
13. Tinschert, J., Natt, G., Jorewitz, A., Fischer, H., Spiekermann, H., Marx, R., *Belastbarkeit vollkeramischer Seitenzahnbrücken aus neuen Hartkernkeramiken*. Dtsch Zahnarztl Z, 2000. **55**.
14. Tinschert, J., Natt, G., Doose, B., Fischer, H., Marx, R., *Seitenzahnbrücken aus hochfester Strukturkeramik*. Dtsch Zahnarztl Z, 1999. **54**.
15. Vagkopoulou, T., et al., *Zirconia in dentistry: Part I. Discovering the nature of an upcoming bioceramic*. Eur J Esthet Dent, 2009. **4**(2): p. 130-51.
16. Kappert, H., Krah, M., *Dentalkeramiken und zahntechnische Verfahren zur Herstellung von keramischem Zahnersatz in der Übersicht*. Quintessenz Zahntech, 2001. **27**(6): p. 666-687.
17. Kollenberg, W., *Technische Keramik*. 2004: Vulkan-Verlag.
18. Strübig, W., *Geschichte der Zahnheilkunde. Eine Einführung für Studenten und Zahnärzte*. 1989: Deutscher Ärzte-Verlag.
19. Freese, A.S., *Porcelain fused to iridio-platinum crowns*. J Prosth Dent, 1959.
20. McLean, J.W., Hughes, T.H., *The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides*. Br Dent J, 1965. **119**: p. 251-254.
21. McLean, J.W., *Wissenschaft und Kunst der Dentalkeramik*. Vol. Bd.2. 1978, Berlin: Quintessenz Verlag.
22. Suttor, D., Bunke, K., *LAVA® - das neue System von 3M ESPE für vollkeramische ZrO₂-Kronen- und Brückengerüste*. Quintessenz, 2001. **52**(8).
23. Völkl, L., *cercon® - das CAM-Vollkeramiksystem von Degussa Dental*. Quintessenz, 2001. **52**(8).

LITERATUR

24. Becker, J., *CAC - ein Weg zur computerunterstützten Herstellung keramischer Restaurationen*. Dtsch Zahnarztl Z, 1996. **51**.
25. Kern, M., Kohal, R.J., Mehl, A., Pospiech, P., Frankenberger, R., Reiss, B., Wiedhahn, K., Kunzelmann, K.H., *Vollkeramik auf einen Blick*. Vol. 5. Auflage. 2012, Ettlingen: Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V.
26. Marxkors, R., Meiners, H., *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffe*. 2001, Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag.
27. Eichner, K. and H.F. Kappert, *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 1. Grundlagen und Verarbeitung*. 2005: Thieme.
28. Bergmann, W., *Werkstofftechnik 1: Grundlagen*. 2008: Hanser Fachbuchverlag.
29. Groten, M. and J. Schmidseher, *Ästhetische Zahnmedizin*. 2008: Thieme.
30. Pröbster, L., *Vollkeramische Restaurationssysteme für die zahnärztliche Praxis*. Ästhetische Zahnmedizin, 2006. **9**(3): p. 8.
31. Cramer von Clausbruch, S., *Zirkon und Zirkonium*. Dent Lab, 2003. **51**.
32. Klink, A., *CAD/CAM Restaurationen aus Zirkonoxid*. ZMK, 2006. **22**(5/06).
33. Wanschka, P.I., *Der Fräsprozess bei den CAD/CAM-Technologien und der Einfluss der fräsbaaren Materialien*. Quintessenz Zahntechnik, 2010. **36**(12): p. 1679.
34. Tinschert, J., et al., *Status of current CAD/CAM technology in dental medicine*. Int J Comput Dent, 2004. **7**(1): p. 25-45.
35. Mehl, A., *Grundlagen der CAD/CAM-Technik und aktuelle Bewertung*. ZPW online, 2010.
36. Kern, M., *CAD/CAM öffnet weitere Türen - Aktueller Stand der Digitaltechnik zur vollkeramischen Restauration*. Quintessenz Zahntechnik, 2009. **35**(6): p. 693.
37. Hämmerle, C., *Dentale Keramiken: Aktuelle Schwerpunkte für die Klinik*. 2008: Quintessenz-Verlag-GmbH.
38. Rudolph, H., *CAD/CAM - Neue Technologien und Entwicklungen in Zahnmedizin und Zahntechnik*. Deutsche zahnärztliche Zeitschrift, 2003. **58**(10): p. 559.
39. Wanschka, P.I., *Der Fräsprozess bei den CAD/CAM-Technologien und der Einfluss der Fräsbaaren Materialien*. Quintessenz Zahntech, 2010. **36**(12): p. 1679-1684.
40. ivoclar-vivadent, *IPS e.max ceram Verarbeitungsanleitung*, ivoclar-vivadent, Editor. 2009, ivoclar-vivadent.
41. ivoclar-vivadent, *IPS e.max ZirPress Verarbeitungsanleitung*, i. vivadent, Editor. 2009.
42. ivoclar-vivadent, *IPS e.max CAD-on Verarbeitungsanleitung*. 2010.
43. Goodacre, C.J., et al., *Clinical complications in fixed prosthodontics*. The Journal of Prosthetic Dentistry, 2003. **90**(1): p. 31-41.
44. ESPE, M. *Technical Product Profile RelyX Unicem*. 2007; Available from: <http://rvdalab.com/pdf/RelyXUnicemSelf.pdf>.
45. Salido, M.P., et al., *Prospective clinical study of zirconia-based posterior four-unit fixed dental prostheses: four-year follow-up*. Int J Prosthodont, 2012. **25**(4): p. 403-9.
46. Wohlfeil, M., et al., *Degree of gingivitis correlates to systemic inflammation parameters*. Clin Chim Acta, 2009. **401**(1-2): p. 105-9.

LITERATUR

47. Sorrentino, R., et al., *Five-year prospective clinical study of posterior three-unit zirconia-based fixed dental prostheses*. Clin Oral Investig, 2012. **16**(3): p. 977-85.
48. Philipp, A., et al., *Novel ceria-stabilized tetragonal zirconia/alumina nanocomposite as framework material for posterior fixed dental prostheses: preliminary results of a prospective case series at 1 year of function*. Quintessence Int, 2010. **41**(4): p. 313-9.
49. Schmitt, J., et al., *Zirconia posterior fixed partial dentures: a prospective clinical 3-year follow-up*. Int J Prosthodont, 2009. **22**(6): p. 597-603.
50. Cehreli, M.C., A.M. Kokat, and K. Akca, *CAD/CAM Zirconia vs. slip-cast glass-infiltrated Alumina/Zirconia all-ceramic crowns: 2-year results of a randomized controlled clinical trial*. J Appl Oral Sci, 2009. **17**(1): p. 49-55.
51. Pelaez, J., et al., *A prospective evaluation of zirconia posterior fixed dental prostheses: three-year clinical results*. J Prosthet Dent, 2012. **107**(6): p. 373-9.
52. Cvar, J.F. and G. Ryge, *Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971*. Clin Oral Investig, 2005. **9**(4): p. 215-32.
53. Ørstavik, D., K. Kerekes, and H.M. Eriksen, *The periapical index: A scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis*. Dental Traumatology, 1986. **2**(1): p. 20-34.
54. Bindl, A. and W.H. Mormann, *Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations*. J Oral Rehabil, 2005. **32**(6): p. 441-7.
55. Sailer, I., et al., *Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures*. Int J Prosthodont, 2007. **20**(4): p. 383-8.
56. Hickel, R., et al., *FDI World Dental Federation: clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations-update and clinical examples*. Clin Oral Investig, 2010. **14**(4): p. 349-66.
57. Hellwig, E., J. Klimek, and T. Attin, *Einführung in die Zahnerhaltung*. 2006: Urban&Fischer.
58. Kerschbaum, T., *Die praktische Bewährung von Krone und Inlay*. Dtsch Zahnarztl Z, 1981. **36**: p. 243-249.
59. Brannstrom, M., *Sensitivity of dentine*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1966. **21**(4): p. 517-26.
60. Adyani-Fard, D., T.S. Kim, and P. Eickholz, *Interproximal bone loss at contralateral teeth with and without root canal filling in periodontitis patients*. J Clin Periodontol, 2011. **38**(3): p. 269-75.
61. Raigrodski, A.J., et al., *The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: A prospective clinical pilot study*. The Journal of prosthetic dentistry, 2006. **96**(4): p. 237-244.
62. Sailer, I., et al., *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, 2007. **18 Suppl 3**: p. 86-96.
63. Anusavice, K.J., *Standardizing failure, success, and survival decisions in clinical studies of ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses*. Dent Mater, 2012. **28**(1): p. 102-11.

LITERATUR

64. Heintze, S.D. and V. Rousson, *Survival of zirconia- and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review*. Int J Prosthodont, 2010. **23**(6): p. 493-502.
65. Hajto, J., *Korrekte Modellierung von Zirkoniumdioxidgerüsten*. Zahnarzl Mitt, 2011. **101**(2 A): p. 38-41.
66. Weiss, M. and J. von Lübke, *Potential: Metallfreier Goldstandard Monolithische Restauration mit transluzentem Zirkonoxid*. J Cont Dent Educ, 2013(4).
67. ivoclar-vivadent, *Multilink Automix Das adhäsive Befestigungs-System*, in *Eine starke Verbindung, klinisch bewährt*. 2013.
68. Ryge, G., *Clinical criteria*. Int Dent J, 1980. **30**(4): p. 347-58.
69. Hickel, R., et al., *Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98--FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns*. J Adhes Dent, 2007. **9 Suppl 1**: p. 121-47.
70. Kerschbaum, T., M. Seth, and U. Teeuwen, *Verweildauer von kunststoff- und metallkeramisch verblendeten Kronen und Brücken*. Dtsch Zahnarzl Z, 1997. **52**(6): p. 404-406.
71. Walton, T.R., *A 10-year longitudinal study of fixed prosthodontics: clinical characteristics and outcome of single-unit metal-ceramic crowns*. Int J Prosthodont, 1999. **12**(6): p. 519-26.
72. Napankangas, R., M.A. Salonen, and A.M. Raustia, *A 10-year follow-up study of fixed metal ceramic prosthodontics*. J Oral Rehabil, 1997. **24**(10): p. 713-7.
73. Reitmeier, B., et al., *Prospektive Studie zur Bewährung metallkeramischer Kronen unter Praxisbedingungen: 8-Jahresergebnisse*. Deutsche Zahnärztl Z, 2007. **62**(2): p. 104-109.
74. Pröbster, L., *Survival rate of In-Ceram restorations*. Int J Prosthodont, 1993. **6**(3): p. 259-63.
75. Segal, B.S., *Retrospective assessment of 546 all-ceramic anterior and posterior crowns in a general practice*. J Prosthet Dent, 2001. **85**(6): p. 544-50.
76. Vult von Steyern, P., O. Jonsson, and K. Nilner, *Five-year evaluation of posterior all-ceramic three-unit (In-Ceram) FPDs*. Int J Prosthodont, 2001. **14**(4): p. 379-84.
77. Sorensen, J.A., et al., *In-Ceram fixed partial dentures: three-year clinical trial results*. J Calif Dent Assoc, 1998. **26**(3): p. 207-14.
78. Olsson, K.G., et al., *A long-term retrospective and clinical follow-up study of In-Ceram Alumina FPDs*. Int J Prosthodont, 2003. **16**(2): p. 150-6.
79. Edelhoff, D., *Adhäsiv und konventionell befestigte Empress I-Kronen*. Deutsche zahnärztliche Zeitschrift, 2000. **55**(5): p. 326.
80. Fradeani, M. and M. Redemagni, *An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: a retrospective study*. Quintessence Int, 2002. **33**(7): p. 503-10.
81. El-Mowafy, O. and J.F. Brochu, *Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations--a literature review*. J Can Dent Assoc, 2002. **68**(4): p. 233-7.

LITERATUR

82. Taskonak, B. and A. Sertgoz, *Two-year clinical evaluation of lithia-disilicate-based all-ceramic crowns and fixed partial dentures*. Dent Mater, 2006. **22**(11): p. 1008-13.
83. Zimmer, D., T. Gerds, and J.R. Strub, *Überlebensraten von IPS-Empress®2-Vollkeramikronen und -brücken: Drei-Jahres-Ergebnisse*. Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin, 2004. **114**(2): p. 115.
84. Marquardt, P. and J.R. Strub, *Survival rates of IPS empress 2 all-ceramic crowns and fixed partial dentures: results of a 5-year prospective clinical study*. Quintessence Int, 2006. **37**(4): p. 253-9.
85. Pospiech, P., et al., *Clinical evaluation of Empress 2 bridges: First results after two years*. J Dent Res, 2000. **79**.
86. Pjetursson, B.E., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns*. Clin Oral Implants Res, 2007. **18 Suppl 3**: p. 73-85.
87. Beuer, F., et al., *Prospective study of zirconia-based restorations: 3-year clinical results*. Quintessence Int, 2010. **41**(8): p. 631-7.
88. Tinschert, J., et al., *Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results*. Int J Prosthodont, 2008. **21**(3): p. 217-22.
89. Beuer, F., et al., *Three-year clinical prospective evaluation of zirconia-based posterior fixed dental prostheses (FDPs)*. Clin Oral Investig, 2009. **13**(4): p. 445-51.
90. Gernet, W., et al., *Zahnärztliche Prothetik*. 2011: Thieme.
91. Hickel, R., et al., *FDI World Dental Federation - clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations. Update and clinical examples*. J Adhes Dent, 2010. **12**(4): p. 259-72.
92. Ivoclar-vivadent, *IPS e.max Scientific Report*. 2011.
93. Fradeani, M., A. Aquilano, and M. Corrado, *Clinical experience with In-Ceram Spinell crowns: 5-year follow-up*. Int J Periodontics Restorative Dent, 2002. **22**(6): p. 525-33.
94. Schmitt, J., et al., *Restoring severely compromised anterior teeth with zirconia crowns and feather-edged margin preparations: a 3-year follow-up of a prospective clinical trial*. Int J Prosthodont, 2010. **23**(2): p. 107-9.
95. Groten, M. and F. Huttig, *The performance of zirconium dioxide crowns: a clinical follow-up*. Int J Prosthodont, 2010. **23**(5): p. 429-31.
96. Dhima, M., et al., *Practice-based clinical evaluation of ceramic single crowns after at least five years*. J Prosthet Dent, 2014. **111**(2): p. 124-30.
97. Rinke, S., S. Schafer, and M. Roediger, *Complication rate of molar crowns: a practice-based clinical evaluation*. Int J Comput Dent, 2011. **14**(3): p. 203-18.
98. Cehreli, M.C., A.M. Kalkat, and K. Akşar, *CAD/CAM Zirconia vs. slip-cast glass-infiltrated Alumina/Zirconia all-ceramic crowns: 2-year results of a randomized controlled clinical trial*. J Appl Oral Sci, 2009. **17**(1): p. 49-55.
99. Rinke, S., et al., *Practice-based clinical evaluation of metal-ceramic and zirconia molar crowns: 3-year results*. J Oral Rehabil, 2013. **40**(3): p. 228-37.
100. Poggio, C.E., R. Dosoli, and C. Ercoli, *A retrospective analysis of 102 zirconia single crowns with knife-edge margins*. J Prosthet Dent, 2012. **107**(5): p. 316-21.
101. Raigrodski, A.J., et al., *Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: a systematic review*. J Prosthet Dent, 2012. **107**(3): p. 170-7.

LITERATUR

102. Sax, C., C.H. Hammerle, and I. Sailer, *10-year clinical outcomes of fixed dental prostheses with zirconia frameworks*. Int J Comput Dent, 2011. **14**(3): p. 183-202.
103. Walls, A.W., *Cantilever FPDs have lower success rates than end abutted FPDs after 10-years of follow-up*. J Evid Based Dent Pract, 2010. **10**(1): p. 41-3.
104. Tan, K., et al., *A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years*. Clin Oral Implants Res, 2004. **15**(6): p. 654-66.
105. Johansson, A., R. Omar, and G.E. Carlsson, *Bruxism and prosthetic treatment: a critical review*. J Prosthodont Res, 2011. **55**(3): p. 127-36.
106. Napankangas, R., M.A. Salonen-Kemppi, and A.M. Raustia, *Longevity of fixed metal ceramic bridge prostheses: a clinical follow-up study*. J Oral Rehabil, 2002. **29**(2): p. 140-5.
107. Walton, T.R., *An up to 15-year longitudinal study of 515 metal-ceramic FPDs: Part 2. Modes of failure and influence of various clinical characteristics*. Int J Prosthodont, 2003. **16**(2): p. 177-82.
108. Behr, M., et al., *Risk of chipping or facings failure of metal ceramic fixed partial prostheses--a retrospective data record analysis*. Clin Oral Investig, 2012. **16**(2): p. 401-5.
109. Goldammer, C., *Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Biegefestigkeit von verblendetem Zirkoniumdioxid*, in *Abteilung Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik und Sektion Medizinische Werkstoffkunde und Technologie*. 2012, Eberhard Karls Universität: Tübingen. p. 137.
110. Anusavice, K.J., O.M. Jadaan, and J.F. Esquivel-Upshaw, *Time-dependent fracture probability of bilayer, lithium-disilicate-based, glass-ceramic, molar crowns as a function of core/veneer thickness ratio and load orientation*. Dent Mater, 2013. **29**(11): p. 1132-8.

Danksagung

Mein herzlichster Dank gilt nach Allah

meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Heiner Weber für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie meinem Freund und Betreuer Herrn Dr. Fabian Hüttig für sämtliche Korrekturen, die aufgewendete Zeit und alle Hilfestellungen.

Ebenso danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der prothetischen Abteilung am ZZMK, die mich unterstützt haben. Hier möchte ich namentlich Herrn Dr. Chris Loeffler sowie Frau Dr. Katrin Goldammer nennen.

Ein besonderer Dank gilt zweifelsohne meinen Eltern, die mich immer während unterstützten, an mich glaubten und mir mein Studium und mit ihm die Anfertigung einer solchen Arbeit ermöglicht haben.

Des Weiteren danke ich meinem Bruder Dipl. Kaufm. Firas Said für seine umfassende Unterstützung.

Nicht zuletzt möchte ich meiner wundervollen Frau danken für ihr Verständnis, ihre Geduld, ihre Unterstützung sowie die drei großartigen Söhne die sie mir geschenkt hat. Ohne dich wäre es nie zu einem Abschluss dieser Arbeit gekommen.