

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

**RelyX-Unicem als Befestigungsmaterial von  
vollkeramischen Restaurationen  
im mittelfristigen Verlauf**

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

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

**vorgelegt von**

**Allgöwer, Andreas**

**2017**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth  
1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Weber  
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. C. Meller  
Tag der Disputation: 20.09.2017

Meinen Eltern gewidmet



## Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Hinführung zur Thematik .....	1
1.2 Herausnehmbarer Zahnersatz, sowie kombiniert festsitzend / herausnehmbarer Zahnersatz .....	2
1.3 Festsitzender Zahnersatz und generelle Aspekte der Befestigung.....	3
1.4 Generelle Aspekte zu Restaurationswerkstoffen .....	6
Restorationen auf Basis von Legierungen .....	6
Restorationen auf Basis von Keramiken.....	7
1.4.1 Indikation Vollkeramischer Restorationen.....	8
1.5 Befestigungsmaterialien für festsitzenden Zahnersatz .....	9
1.5.1 Anforderungen an ein Befestigungsmaterial .....	9
1.5.2 Generelle Einteilung von Befestigungsmaterialien.....	11
1.5.3 konventionelle Zemente.....	13
1.5.4 konventionelle Adhäsiv-Technik .....	14
1.5.5 Selbst-adhäsive Komposit-Zemente / Hybridzemente .....	16
1.6 Der Hybridzement: RelyX Unicem im Speziellen .....	21
1.6.1 Praktische Aspekte / Gebrauchsanweisung .....	21
1.6.2 RelyX Unicem Produktprofil .....	22
1.6.3 Klinische Bewertung .....	23
1.6.4 Befestigung von vollkeramischen Restorationen .....	23
1.7 Zusammenfassende Betrachtung .....	24
1.8 Ziel und Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit .....	25
<b>2. MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>26</b>
2.1 Patienten und Behandlung .....	26
2.1.1 Auswahlkriterien in der Datenbank .....	26
2.1.2 Behandlungsstandard zum Befestigungsmaterial RelyX Unicem .....	27
2.1.3 Benutzte Keramik Systeme .....	28
2.1.4 Behandler .....	29
2.2 Nachuntersuchungen und Dokumentation.....	30
2.2.1 Untersuchungstermine der Patienten .....	30

2.2.2	Untersucher der Patienten.....	30
2.2.3	Nachuntersuchung der Patienten .....	30
2.2.4	Dokumentation aus dem Zahnstatus und Hygienebefund .....	31
2.2.5	Dokumentation unerwünschter Ereignisse und die Qualitätsbewertung als dokumentiertes Verfahren .....	32
2.3	Variablenauswahl zur Beantwortung der Forschungsfragen .....	37
2.3.1	Auswertung der klinischen Leistungsfähigkeit .....	37
2.3.2	Auswahl von Vergleichszähnen (Referenzzähnen) für parodontale Parameter.....	39
2.3.3	Variablen zur Erfolgsbewertung des Befestigungsmaterials.....	40
2.3.4	Definition von Erfolg, Komplikation und Misserfolg.....	40
2.3.5	Statistische Methoden zur Auswertung der Variablen .....	42
	Prävalenzen und Häufigkeitsverteilungen im gesamten Beobachtungszeitraum .....	42
	Zeitliches Auftreten und Veränderung von Variablen während der Tragezeit.....	42
<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>44</b>
3.1	Zusammensetzung der ausgewerteten Kohorte .....	44
3.1.1	Berücksichtigte Patienten .....	44
3.1.2	Eingegliederte und beobachtete Restaurationen .....	46
3.2	Beobachtungszeit der Restaurationen.....	52
3.3	Beobachtete Ereignisse an den Restaurationen und deren Klassifikation.....	55
3.3.1	Beobachtet Ereignisse die das Befestigungsmaterial betreffen .....	57
	Beobachtete Ereignisse im Einzelnen: .....	57
3.3.2	Weitere beobachtete Ereignisse an den Restaurationen.....	59
3.4	Erfolgs-, Komplikation- und Überlebenszeitanalyse der Restaurationen .....	61
3.4.1	Komplikationsrate für Ereignisse die mit dem Befestigungsmaterial assoziiert sind .....	61
	Differenzierung nach oxidkeramischer- und silikatkeramischer Basis .	62
	Differenzierung nach Restaurationstyp:.....	63

3.4.2	Komplikationsraten der Restaurationen unter Berücksichtigung aller unerwünschter Ereignisse.....	64
3.4.3	Überlebenszeitschätzung für die eingegliederten Restaurationen.....	66
3.5	Bewertung der Qualität der Restaurationen.....	68
3.5.1	Qualität der Kronen.....	69
3.5.2	Qualität anderer silikatkeramischer Restaurationen .....	74
3.5.3	Qualität der Brückenpfeiler .....	77
3.6	Aspekte der parodontalen Gesundheit .....	79
3.6.1	Zähne welche mit Inlays und Teilkronen versorgt wurden .....	79
3.6.2	Zähne welche mit Kronen versorgt wurden .....	84
3.6.3	Zähne welche als Brückenanker dienen .....	86
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>87</b>
4.1	Vergleichbarkeit der Daten .....	87
4.1.1	Alter und Geschlechterverteilung in der Patientenkohorte.....	87
4.1.2	Vergleichbarkeit der Untersuchungsmethodik .....	88
4.1.3	Restaurationen und Beobachtungen der Kohorte.....	89
4.2	Ereignisse die das Befestigungsmaterial betreffen.....	91
4.2.1	Hypersensibilität .....	91
4.2.2	Retentionsverluste .....	92
4.2.3	Randpassung, Randverfärbung und Sekundärkaries .....	94
	Randintegrität und -verfärbung der Inlays.....	95
	Randintegrität und -verfärbung von oxidkeramischen Brückenpfeilern und Kronen .....	96
	Randintegrität und -verfärbung der silikatkeramischen Kronen. ....	97
4.2.4	Analyse zu den Untersuchungen der parodontalen Gesundheit.....	98
4.3	Leistungsfähigkeit der Restaurationen im Vergleich zu Literaturdaten.....	102
4.3.1	Oxidkeramische Brücken.....	102
4.3.2	Oxidkeramische Kronen .....	103
4.3.3	Silikatkeramische Kronen .....	103
4.3.4	Silikatkeramische Inlays .....	104

<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>105</b>
5.1	Beantwortung der Forschungsfragen.....	105
5.2	Resümee für die klinische Anwendung.....	106
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>107</b>
<b>7.</b>	<b>ERKLÄRUNGEN ZUM EIGENANTEIL .....</b>	<b>118</b>



## Abkürzungsverzeichnis

AE	Unerwünschtes Ereignis am Zahnersatz, Zahn oder Zahnfleisch (adverse event)
BEMA	Bewertungsmaßstab zahnärztlicher Leistungen
BoP	Blutung auf Sondieren (Bleeding on Probing)
CDA	California Dental Association
CRF	Falldokumentation (Case Report Form)
DGPro	Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V.
FDI	Fédération Dentaire Internationale
GIZ	Glasionomierzement
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
MDP	10-methacryloxydecyl-dihydrogenphosphat, Komposit-Bestandteil
MPa	Megapascal (SI-Einheit)
MPS	3-methacryloxypropyltrimethoxysilane, Komposit-Bestandteil
MW	Mittelwert
N	Newton (SI-Einheit)
NEM	Nicht-Edelmetall(legierung)
PMMA	Polymethylmethacrylat
SAE	Schweres unerwünschtes Ereignis am Zahnersatz, Zahn oder Zahnfleisch, das i.d.R. zum Verlust der Restauration und/oder des Zahnes führt (severe adverse event)
SÄT	Schmelz-Ätz-Technik
SD	Standard Abweichung
SST	Sulkussondierungstiefe (in mm)
VMK	Vita Metall Keramik
ZE	Zahnersatz (hier insbesondere Brücke, Kronen, Teilkronen, Inlays)
ZrO <sub>2</sub>	Zirkoniumdioxid
ZZMK	Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde



## 1. Einleitung

### 1.1 Hinführung zur Thematik

Zahnersatz (ZE) stellt eine Möglichkeit dar, verloren gegangene Zähne und/oder Zahnhartsubstanz zu ersetzen. Zahnersatz muss im Mund befestigt werden, damit er seine Funktion erfüllen kann und nicht verschluckt oder aspiriert wird.

Herausnehmbarer Zahnersatz wird durch Halteelemente befestigt. Dies wird durch den Einsatz von Klammern oder auch Präzisionshalteelementen (Teleskope, Geschiebe) erreicht.

Für festsitzenden Zahnersatz benötigt man ein Material, welches die Restauration im Munde sicher und langfristig verankert, ohne dabei den Zahn oder umliegende Gewebe zu schädigen.

Das Material muss den physikalischen und chemischen Bedingungen in der Mundhöhle standhalten und darf seine Funktion und Anforderung dadurch nicht verlieren. Die Einsatzzeit von festsitzendem Zahnersatz liegt in der Regel bei ca. 8 bis 20 Jahren – teils auch darüber [68, 77, 126-128, 143]. Diese Zeit muss demzufolge auch das Befestigungsmaterial überdauern.

Ein definitives Befestigungsmaterial erfüllt zwei wesentliche Zwecke [59]:

- Befestigung des Zahnersatzes im Munde
- Schutz des Restzahns durch Versiegelung des Übergangs zwischen Zahnersatz und Zahnhartsubstanz

Bis zur Jahrtausendwende wurde zur Befestigung von Metall- und Keramikverblendkronen als Standard Zement auf Basis von Zinkoxid-Phosphat oder Glasionomeren benutzt [27, 29, 114].

Durch Fortschritte in der Adhäsivtechnik und insbesondere auch durch die Anforderungen vollkeramischer Restaurationen kam zunehmend die „adhäsive Befestigungen“ auf [24, 65, 104]. Diese Befestigungsart mittels Schmelz-Ätz-Technik, konditionieren der Klebeflächen und Befestigung mit einem Komposit

ermöglichte ästhetische Ergebnisse und trug sogleich zur Erhöhung der Festigkeit sowie Widerstandfähigkeit der Restaurationen, insbesondere auf Basis von Silikatkeramik, bei [18, 73].

Allerdings sind adhäsive Befestigungen, gegenüber der klassischen Zementierung, techniksensibel (Verunreinigungen, Wasserkontamination) [40, 139, 140], und dadurch in der Praxis zeit- und kostenaufwendig. Der Erfolg von Restaurationen kann also bereits durch die Anwendung / den Anwender beim definitiven Einsetzen limitiert werden [42].

Daher etablierten sich in den letzten Jahren sog. „Hybridzemente“ – Diese versprechen das klinische Handling eines Zements mit adhäsiven Eigenschaften eines Komposit-basierten Befestigungsmaterials zum Einsetzen insbesondere von vollkeramischen (metallfreien) Restaurationen [107].

Eines dieser Befestigungsmaterialien ist „RelyX Unicem“ der Firma 3M ESPE (Seefeld, Deutschland) [1], welches mit der Zunahme von vollkeramischen Restaurationen seit der Markteinführung 2002 in der niedergelassenen Praxis eine hohe Verbreitung fand.

Die vorliegende Arbeit untersucht und bewertet klinische Beobachtungen an vollkeramischen Restaurationen, die mit dem selbst-adhäsiven Kompositzement RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden, um dessen Leistungsfähigkeit im mittelfristigen Verlauf darzustellen.

### **1.2 Herausnehmbarer Zahnersatz, sowie kombiniert festsitzend / herausnehmbarer Zahnersatz**

Als herausnehmbarer Zahnersatz sind Prothesen, die sich problemlos herausnehmen lassen, definiert. Man unterscheidet hier weiter in Totalprothesen und Teilprothesen. Die Befestigung dieses Zahnersatzes gewährleisten Halteelemente. Ein Befestigungsmaterial ist bei dieser Art von Zahnersatz deswegen nicht nötig. Herausnehmbarer Zahnersatz ist für die vorliegende Arbeit nicht relevant. Der kombiniert festsitzend / herausnehmbarer Zahnersatz besteht aus einem oder mehreren festsitzenden Teilen (so genannte Retentionsanker) sowie einer herausnehmbaren Prothese, die an

dem Retentionsanker ohne Befestigungsmaterial verankert ist. Durch den herausnehmbaren Anteil ist auch ein kombiniert festsitzend / herausnehmbarer Zahnersatz für die vorliegende Arbeit nicht relevant.

### **1.3 Festsitzender Zahnersatz und generelle Aspekte der Befestigung**

Festsitzender Zahnersatz wird anhand einer Abformung und eines Modells (digital oder analog) gefertigt. Man spricht daher auch von „indirekten Restaurationen“.

Als festsitzenden Zahnersatz bezeichnet man vornehmlich Brücken. Brücken ersetzen fehlende Zähne indem die an die Lücke angrenzenden Zähne als Befestigungsanker herangezogen werden. So können in der Regel durch zwei oder mehr „Anker“ ein oder mehrere Zähne ersetzt werden. Hierbei sind die ersetzten Zähne (Brückenglieder) mit den Ankern (Brückenpfeilern) fest verbunden. Die Brückenpfeiler selbst stellen eine Befestigung des Brückengerüsts (Glieder und Pfeiler) an den natürlichen Zähnen dar.

Darüber hinaus subsumiert man unter Zahnersatz auch Restaurationen die verloren gegangene Zahnhartsubstanz ersetzen. Dazu zählen: Kronen, Teilkronen, Onlays und Inlays.

Kronen ersetzen zirkulär die Zahnform indem der restliche Zahn komplett mit einem Werkstoff (z.B. Metall, Oxid- oder Silikatkeramik) wieder hergestellt wird. Teilkronen können eingesetzt werden, wenn die verlorene Zahnhartsubstanz es nicht notwendig macht den gesamten Zahn bis zum Zahnhals zu ersetzen / restaurieren. Onlays ersetzen kaukrafttragende Höcker, während Inlays nur Teile der Kau- und Approximalfläche eines Zahnes ersetzen.

All diese Versorgungen sind nicht herausnehmbar und müssen gegen unbeabsichtigtes herausfallen bzw. lockern gesichert werden. Dies erreicht man durch die Verwendung eines Befestigungsmaterials.

Erster Zweck:

Langfristige Befestigung von Zahnersatz auf der Zahnhartsubstanz stabil gegen Abzug und Rotation.

Da dieses Material selbst etwas Platz benötigt entsteht ein geringer Spalt zwischen Restauration und Zahn. Dieser führt am Abschluss (Restaurationsrand) zu einem so genannten Randspalt (s. Abbildung 1).

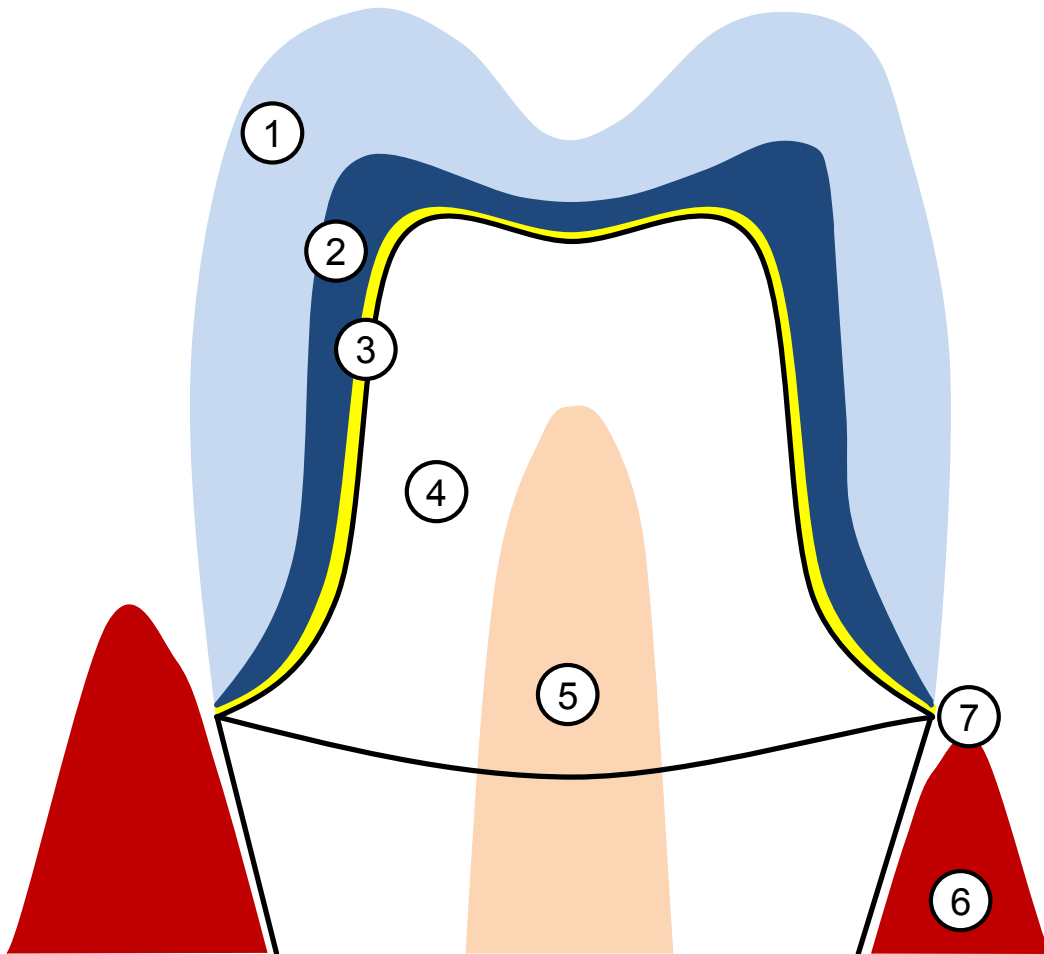
Die Größe des Randspalts ist aber klinisch auch durch die geometrische Formgebung der Zahnhartsubstanz am späteren Restaurationsrand bestimmt. Die Gestaltung der sogenannten Präparationsgrenze hat Einfluss auf die Fertigung des Zahnersatzes und damit auch den Randspalt [2, 90].

Der Randspalt soll zwischen 50-150 µm betragen, dies wird klinisch als akzeptabel angesehen [84, 116] und ist fertigungstechnisch auch erreichbar [6, 49].

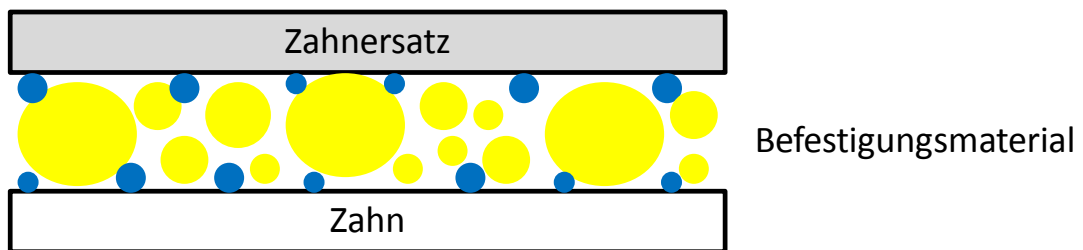
Da dieser Randspalt nicht zu vermeiden ist, sollte der Spalt eine einheitliche, möglichst geringe, geometrische Passung aufweisen und langfristig durch das Befestigungsmaterial versiegelt werden.

Zweiter Zweck:

Langfristige Versiegelung des Übergangs zwischen Zahnersatz und Zahnhartsubstanz.



**Abbildung 1: Schema eines Zahnes mit Gerüstbasierter keramisch vollverblendeter Krone** – Schnitt in oro-vestibulärer Richtung – Dargestellt sind:  
1. Keramik Verblendung 2. Gerüst 3. Zementspalt 4. Präparierter Zahn  
5. Zahnerv (Pulpa) 6. Zahnfleisch (Gingiva propria) 7. Randspalt (hier: in paragingivaler Lage) zwischen Präparationsgrenze (unten) und Restauration (Gerüst, oben)



**Abbildung 2: Schema des Zementspalts**

Werden beide Zwecke erfüllt bestehen weiter die Anforderungen, dass das Befestigungsmaterial (s. Kapitel 1.5.1, Seite 9):

- den Zahn selbst nicht schädigt (z.B. durch Säure), sondern bestenfalls schützt (z.B. durch Fluoride)
- das Restaurationsmaterial nicht verändert (z.B. durch Korrosion)
- das Restaurationsmaterial unterstützt (z.B. durch einen festen Verbund)

### **1.4 Generelle Aspekte zu Restaurationswerkstoffen**

Als Restaurations-Werkstoffe für definitive indirekte Restaurationen kommen zwei Hauptgruppen zum Einsatz:

- a) Restaurationen auf Basis von metallischen Werkstoffen (Legierungen)
- b) Restaurationen auf Basis von mineralischen Werkstoffen (Keramiken)

#### *Restaurationen auf Basis von Legierungen*

Die verwendeten Legierungen können Edelmetalle (insb. Gold, Platin, Silber) enthalten oder ohne Edelmetalle (insb. Chrom, Cobalt, Molybdän) legiert sein. Edelmetall-Legierungen kommen vornehmlich bei Inlays, Kronen und Brücken zum Einsatz. Nicht-Edelmetall Legierungen (NEM-Legierung) vornehmlich für Kronen und weitspannige Brücken. Legierungen bieten die Möglichkeit die Restaurationen keramisch zu verblenden. Da die Legierungen immer eine metallische Farbe aufweisen und opak sind, ist es schwierig einen natürlichen Zahn in der gesamten Ästhetik nachzuahmen.

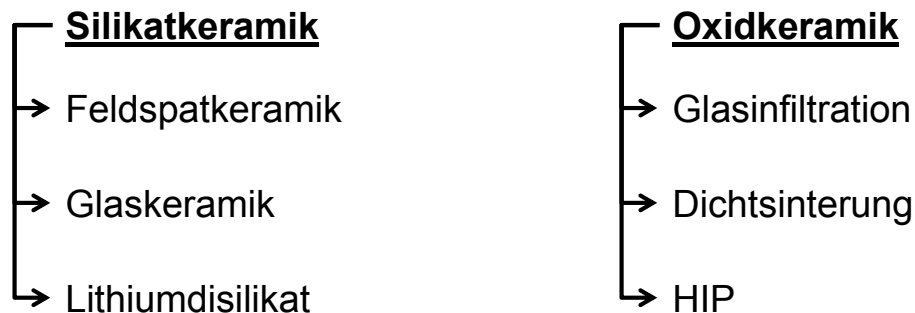
Restaurationen auf Basis von Legierungen wurden und werden in der Regel mit konventionellen Zementen (s. Kapitel 1.5.3, Seite 13) befestigt [76, 126, 131].

Eine Sonderform stellt die sogenannte „Adhäsivprothetik“ dar, in der - meist NEM-Legierungen - nach Konditionierung (Rocatec-Verfahren [47]) mittels Adhäsiven mit der Zahnhartsubstanz verklebt werden (s. Kapitel 1.5.4, Seite 14). Diese Form ermöglicht einen minimalinvasiven Zahnersatz: die Klebebrücke [66, 106].



### *Restaurationen auf Basis von Keramiken*

Metallfreie Restaurationen werden aus Keramiken bzw. mineralischen Materialien gefertigt [31, 53]. Diese Werkstoffe lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Silikatkeramiken und Oxidkeramiken (s. Abbildung 3) [67].



**Abbildung 3: übergeordnete Einteilung der Keramiken und weitere Untergruppen**

Silikatkeramiken eignen sich hervorragend für ästhetische Restaurationen, da sie eine gute Lichttransmission aufweisen. Nachteilig ist allerdings die Festigkeit: Feldspatkeramiken sind farblich brillant, allerdings liegt deren Biegefestigkeit bei ca. 120-180 MPa. Glaskeramiken sind mit ca. 200-300 MPa fester [117]. Lithiumdisilikat und zirkonverstärkte Lithiumsilikat-Keramiken zeichnet mit 350 bis 450 MPa derzeit, bei guten optischen Eigenschaften (Transluzenz, Farbe), die höchste Festigkeit unter den Silikatkeramiken aus [34, 124].

Oxidkeramiken sind hochfest und basieren auf Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oder Zirkonoxid ( $\text{ZrO}_2$ ). Heute haben sich durch die höhere Biegefestigkeit von ca. 1.000 MPa [54] Zirkonoxid-Keramiken am Markt durchgesetzt [86]. Allerdings weisen alle Oxidkeramiken eine opake, leicht weißliche Farbe auf. Deshalb werden diese meist zusätzlich mit Feldspatkeramiken verblendet. Oxidkeramiken dienen daher im Wesentlichen zur Herstellung des Gerüsts einer Restauration, welches mit Feldspatkeramiken verblendet wird. Letztere sind allerdings wieder anfällig für Frakturen und Versagen – das sog. „Chipping“. Dies sind Abplatzungen der Verblendkeramik, die insbesondere bei oxidkeramisch-basierten Brücken und auch Kronen beobachtet werden [50, 108].

Aus diesen allgemeinen Eigenschaften leiten sich die Indikationen der Werkstoffe für die einzelnen Restaurationen ab [79].

### **1.4.1 Indikation Vollkeramischer Restaurationen**

Die Indikation vollkeramischer Restaurationen ist für Deutschland in der wissenschaftlichen Mitteilung der DGPro sowie der S3-Leitlinie zu Vollkeramischen Kronen und Brücken festgelegt [79, 85].

Vollkeramische Restaurationen können mittlerweile für alle Defekte des Einzelzahns eingesetzt werden, sofern die Präparation und das gewählte Restaurationsmaterial die spätere Befestigung (s. Kapitel 1.5, Seite 9) zulässt. Dies betrifft im Speziellen die Silikatkeramiken mit geringer Festigkeit, welche eine adhäsive Befestigung benötigen [41, 52, 73].

Im Zusammenhang mit der adhäsiven Befestigung stellt die vollkeramische Restauration einen wesentlichen Vorteil dar:

Die Präparation kann – insbesondere bei Einzelzahnversorgungen – defektorientiert erfolgen und somit gesunde Zahnschubstanz schonen [33, 70, 81]. Auch sehr dünne Höcker können durch den späteren adhäsiven Verbund von Zahn und Restauration dadurch langfristig stabilisiert werden. Die Präparation richtet sich also nach Material und Fertigungstechnologie (Pressen, CAD/CAM-Schleifen, Schichten) [11].

Bei Restaurationen auf Basis von Oxidkeramiken steht vielmehr die Idee eines zahnfarbenen Restaurationsmaterials im Vordergrund – Die Präparation und Retentionsform ist hier vergleichbar zu metallkeramischen Kronen und Brücken, auch wenn den Anforderungen der CAD/CAM Fertigung durch zumindest abgerundete Kanten und Übergänge Genüge geleistet werden muss [6].

## **1.5 Befestigungsmaterialien für festsitzenden Zahnersatz**

### **1.5.1 Anforderungen an ein Befestigungsmaterial**

Ein modernes Befestigungsmaterial sollte die restliche Zahnschubstanz nicht schädigen, einfach in der Anwendung sein und einen guten Randschluss sowie den Schutz der Zahnhartsubstanz gewährleisten [24].

Dabei muss das Befestigungsmaterial langfristig eine Verkeilung oder Verklebung von Zahnhartsubstanz und Restaurationsmaterial ermöglichen [27, 93].

Das am Randspalt (s. Kapitel 1.3, Seite 3 und Abbildung 1, Seite 5) freiliegende und die Zahnhartsubstanz bedeckende Befestigungsmaterial sollte:

- pH-neutral sein
- wasserunlöslich sein
- temperaturbeständig etwa zwischen -10 bis 50°C sein
- geringe Schichtdicke ermöglichen
- geringe Alterungstendenz (Temperaturwechsel, Lasteinleitung etc.) haben
- bakteriendicht (bestenfalls bakterizid) sein
- während und nach dem Abbinden biokompatibel sein
- druckfest sein
- für die Verwendung im sichtbaren Bereich optisch unauffällig sein (bestenfalls zahnfarben)

Denn, am Randspalt besteht die Gefahr, dass das Befestigungsmaterial

- mechanisch belastet ausbricht,
- chemisch aufgelöst oder
- chemo-mechanisch reduziert wird.

Entstehen sogenannte Randspalte, können diese von Bakterien besiedelt werden. Es entsteht ein Biofilm, der für Mundhygienemaßnahmen (Entfernung des Biofilms) durch die geometrische Form unzugänglich ist. In diesem Fall spricht man von einem „Microleakage“, welches klinisch mittel- bis langfristig mit Karies an der Zahnhartsubstanz und / oder Retentionsverlust des Zahnersatzes einhergeht [136, 137].

Daneben sind aber auch praktische Aspekte des Einsetzens berührt. Dazu zählen die Verarbeitungszeit, die Abbindezeit sowie die Entfernung von überschüssigem Befestigungsmaterial (vom Zahn, sowie aus der Zahnfleischtasche) [24, 58, 59]. Zusätzlich können ästhetische Eigenschaften (Auswahl an Farben), die Haltbarkeit und Lagerbedingungen sowie die Kosten eines Befestigungsmaterials in der Praxis eine Rolle spielen.

### 1.5.2 Generelle Einteilung von Befestigungsmaterialien

Befestigungsmaterialien lassen sich auf vier verschiedene Arten einteilen [75]:

1. basierend auf dem Material (nach [20])
  - a. Zinkphosphat
  - b. Zink-Silikophosphat
  - c. Zinkoxid Eugenol
  - d. Glasionomer
  - e. Kunststoff/ Komposit
2. basierend auf dem Verbundtyp (nach [91])
  - a. Phosphat
  - b. Phenolat
  - c. Polycarboxylat
  - d. Kunststoff
  - e. kunststoffmodifiziertes Glasionomer
3. basierend auf Wissensstand und Erfahrung in der Anwendung (nach [29])
  - a. konventionell
  - b. zeitgemäß
4. basierend auf dem Prinzip der Reaktion (nach [145])
  - a. Säure-Base Reaktion
  - b. Polymerisationsreaktion

Tabelle 1 liefert einen Überblick zu den Eigenschaften der voran genannten Befestigungsmaterialien.

## Einleitung

---

**Tabelle 1** Übersicht zu Eigenschaften der Befestigungsmaterialien (nach [21] und [75])

Befestigungs- Material	Aushärte- zeit (Minuten)	Festigkeit (MPa)		Löslichkeit (Gewichts% nach 24 Stunden)	Elastizitäts- modul (GPa)	Verbindung mit Zahnhartsubstanz	Überschuss- entfernung	Löslich- keit
		Druck	Zug					
Zinkoxid-Phosphat Zement	5-9	96-133	3.1-4.5	0.2 max	13	keine	einfach	-
Zinkoxid Polycarboxylat Zement	7-9	57-99	3.6-6.3	0.06	5-6	etwas	befriedigend	-
Glasionomer Zement	6-8	93-226	4.2-5.3	1	7-8	chemisch	genügend	+
Kunststoff modifizierter Glasionomerezement	5-6	85-126	13-24	0.4-0.7	2.5-7.8	chemisch	schwierig	+
Kunststoff	4+	180-265	34-37	0.05	4-6	mikro mechanisch	sehr schwierig	-
Adhäsive Kunststoffe (Komposite)	-	52-224	37-41	-	1.2-10.7	mikro mechanisch/ chemisch	sehr schwierig	-

Folgt man der dritten Einteilung von Donovan und Cho 1999 [29], so könnte man heute als „konventionell“ die Befestigung mittels Zementen und Adhäsiven bezeichnen, und als „zeitgemäß“ die Hybridzemente.

Unter Hybridzementen versteht man die Kombination eines kunststoffmodifizierten Zements mit adhäsiven Eigenschaften [107].

### **1.5.3 konventionelle Zemente**

Lange Zeit konnte festsitzender Zahnersatz nur durch Verklebung befestigt werden. Der Hauptvertreter konventioneller Zement ist seit über 100 Jahren der Zinkoxidphosphat Zement [4]. Noch bis in die 1970er Jahre war das Versagen der Zementierung die zweithäufigste Ursache für das Scheitern von Kronen und Brücken [126]. Mitte der achtziger Jahre rückte die Zementierung an die dritte Stelle mit dem Auftreten nach durchschnittlich ca. sechs Jahren Tragezeit des Zahnersatzes [143].

Die Grenzen des konventionellen Zementierens sind jedoch dann erreicht, wenn:

- Die Retentionsform des Präparationsdesigns keine ausreichende Verkeilung erlaubt (Präparationswinkel über 12°, konische oder nicht zirkuläre Fassung)
- Das eingesetzte Restaurationsmaterial eine chemo-mechanische Retention zum Befestigungsmaterial benötigt, um nicht kurz / mittelfristig zu versagen (Fraktur)

Beide Grenzen betreffen insbesondere die minimalinvasive Prothetik mit keramischen Materialien – namentlich Adhäsivbrücken, Veneers und Einzelzahnversorgungen aus Silikatkeramik [65, 71, 73, 81]. (s. Kap. 1.5.1, Seite 9)

### 1.5.4 konventionelle Adhäsiv-Technik

Die Befestigung mittels Adhäsivtechnik erfordert eine Konditionierung der Zahnoberfläche wie auch des Restaurationsmaterials. Zusätzlich benötigt man ein Komposit zum Ausfüllen des „Zementspalts“ im Sinne einer Klebefuge.

Das Befestigungskomposit bindet chemisch an die konditionierten Oberflächen. Das Produkt Panavia der Firma Kuraray (Hattersheim am Main, Deutschland) war das erste kommerziell erhältliche adhäsive Befestigungssystem für Zahnersatz [76, 135]. In den letzten zwei Jahrzehnten folgten diesem weitere Systeme, wie etwa Variolink und Multilink (beide Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Fürstentum Liechtenstein).

Die Systeme unterscheiden sich heute hauptsächlich in der chemischen Zusammensetzung der zur Konditionierung verwendeten Primer und Adhäsive [65, 78]. Einschlägig sind hier die Verbindungen:

- MDP = 10-methacryloxydecyl-dihydrogenphosphat und
- MPS = 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane

Als Befestigungskomposit kann ein jedes mit diesen Inhaltsstoffen kompatibles Material verwendet werden.

#### **Konditionierung des Zahnes:**

Nach Schmelz-Ätz-Technik erfolgt der Auftrag eines Primers und / oder Adhäsiv-Systems unter absolut trockenen Bedingungen.

#### **Konditionierung der Restauration:**

*Oxidkeramik* wird mit Aluminiumoxid 50 µm Korngröße und 0.25 MPa gestrahlt. Danach folgt der Auftrag eines Primers auf Basis von MDP oder MPS [65].

*Silikatkeramik* wird je nach Materialart mittels Flusssäure (HF, 10%) für 20 bis 60 Sekunden geätzt, abgewaschen, getrocknet und mit einem Primer (meist ein Silan) versehen [38, 51, 80, 134].

*Metalle* können mittels Silikatisierung und Silanisierung für einen Verbund mit Kunststoffen konditioniert werden [47, 88].



### **Befestigungskomposit einbringen:**

Das Befestigungskomposit kann licht- und / oder selbsthärtend sein (light cure, dual cure, auto cure). In der Regel wird es angemischt (Paste/Paste oder in Automischkanülen) und als dünner Film in die Lumina der konditionierten Restauration eingebracht. Die Restauration wird dann auf den konditionierten Zahn aufgesetzt (eingesetzt). Vor / nach Aushärtung werden die Überschüsse des Komposits entfernt, sodass der Randspalt eine einwandfreie Klebefuge darstellt.

Problematisch ist allerdings die Alterung der Komposite und damit die Schwächung des adhäsiven Verbunds [103, 129, 141], insbesondere durch Temperaturwechsel, Wasseraufnahme und mechanische Belastung.

Jedoch ist die eigentliche Leistungsfähigkeit der adhäsiven Befestigungssysteme nicht nur durch die im Labor ermittelten Einflussfaktoren begrenzt.

Denn, wie in den Ausführungen ersichtlich, sind eine Reihe von Schritten notwendig, die konsekutiv und unter den genannten Bedingungen (insb. der Trockenlegung) durchzuführen sind, um die Laborergebnisse „in-vivo“ zu reproduzieren.

Dies ist jedoch durch die „Technik-sensitivität“ des Adhäsivsystems begrenzt und bereits als problematisch beschrieben worden [40, 42, 139, 140].

Deshalb lag die Entwicklung eines Hybridmaterials, welches adhäsive Eigenschaften mit der Einfachheit eines Zements kombiniert nahe. Der Bedarf wuchs mit der Verbreitung der Vollkeramik Ende der 1990er Jahre und führte zur Entwicklung der selbst-adhäsiven Komposit-Zemente.

### **1.5.5 Selbst-adhäsive Komposit-Zemente / Hybridzemente**

„Um ohne Vorbehandlung der Zahnoberfläche ein Einsetzen vergleichbar zum Vorgehen von Zinkoxidphosphat-Zement oder Polycarboxylat-Zement zu gewährleisten, darf nur ein klinischer Schritt notwendig sein.

Wird die Schmierschicht auf der Zahnoberfläche durch Ätzung nicht entfernt, ist auch keine postoperative Sensitivität zu erwarten.

Darüber hinaus versprechen Hersteller, dass ihre selbst-adhäsiven Systeme in geringem Maße flüssigkeits- / feuchtigkeitstolerant sind und vergleichbar zu Glasionomer-Zementen Fluorid-Ionen freisetzen. Gleichzeitig sollte erwartet werden, dass neben guter Ästhetik auch die mechanischen Eigenschaften und Dimensionsstabilität (Fällung/Schrumpfung) sowie die mikromechanische Addition eines adhäsiven Systems gegeben ist. Sind diese Punkte erfüllt, kann man von einem „selbst-adhäsivem Zement“ sprechen, welcher die Anwendung in voller Breite der Restaurationsarten erlaubt.

Der erste in den Markt eingeführte selbst-adhäsive Zement RelyX Unicem (3M Espe) ist bisher am besten in Laborversuchen untersucht. Der Hersteller hat dies in seinen Produktbroschüren ausführlich dargestellt. Es ist davon auszugehen, dass Konkurrenzprodukte ähnliche Eigenschaften / Reaktionen aufweisen:

Grundsätzlich funktionieren diese Befestigungsmaterialien über multifunktionale Monomere mit Phosphorsäure-Gruppen die gleichzeitig Schmelz und Dentin demineralisieren und infiltrieren. Die Abbindereaktion ist eine Polymerisation. Sie wird durch Anmischen und / oder auch durch Licht initiiert bzw. angetrieben. Die Beimengung von Glasionomeren ermöglicht die Neutralisation der Phosphorsäureanteile und bewirkt einen pH-Anstieg von 1 auf 6 durch Reaktion von Phosphorsäuregruppen mit alkalischen Füllern. Das dabei freigesetzte Wasser trägt zur initialen Hydrophilie des Zements bei und erklärt die Feuchtigkeitstoleranz. Durch weitere Reaktion des Wassers mit funktionellen Säuregruppen und Füllstoffen ergibt sich letztlich eine hydrophobe Matrix. Die

mikromechanische Retention und chemische Verbindung beruht auf den Monomergruppen mit Hydroxylapatit.“ [107]

Unterschiede zwischen den am Markt befindlichen selbst-adhäsiven Zementen finden sich in Tabelle 2. Es bleibt hervorzuheben, dass alle Materialien dualhärtend (Licht- und autopolymerisierend) sind. Die Bandbreite der mit einem semiadhäsiven Kompositzement einsetzbaren Restaurationen findet sich in Tabelle 3 (Seite 24), und deckt bis auf Veneers alle Indikationen ab.

## Einleitung

---

**Tabelle 2** Übersicht über alternative Produkte zu RelyX – Stand 17.08.2016

<b>Produktname</b>	<b>Art (Herstellerangabe)</b>	<b>Indikation (Herstellerangabe)</b>	<b>Hersteller</b>
Bifix SE	dualhärtendes, selbstadhäsives Befestigungssystem auf Composite Basis	Definitive Befestigung von Inlays, Onlays, Kronen, Brücken (keine Marylandbrücken) aus Keramik, Zirkoniumdioxid, Compositen und Metall Definitive Befestigung von Metall-, Keramik-, Zirkoniumdioxid- und faserverstärkten Stiften	VOCO GmbH Anton-Flettner-Straße 1-3 27472 Cuxhaven
G-CEM LinkAce	dual-härtender, selbstadhäsiver Composite-Befestigungszement	Definitive Befestigung von Keramik-, Kunststoff- und Metallbasierten Inlays, Onlays, Kronen und Brücken sowie von konfektionierten Stiften aus Metall und Keramik, Glasfaserstiften und gegossenen Stift- und Stumpfaufbauten	GC GERMANY GmbH Seifgrundstr.2 61348 Bad Homburg
iCem Self Adhesive	dualhärtendes All-in-One Befestigungskomposit	Zementieren von metallischen und metallkeramischen Kronen und Brücken; Zementieren von metallischen, keramischen, und Komposit- Inlays und Onlays; Zementieren von Metall-, Titan- und Glasfaser-Wurzelstiften; Befestigen von Nylon-Material zur Schienung gelockerter Zähne; Befestigung von vollkeramischen Kronen und Brücken die mit dem CEREC System gefertigt wurden; Befestigung von Kronen und Brücken aus verstärkten Keramiken (z.B. Zirkonoxid)	Heraeus Kulzer GmbH Grüner Weg 11 63450 Hanau

## Einleitung

---

<b>Produktname</b>	<b>Art (Herstellerangabe)</b>	<b>Indikation (Herstellerangabe)</b>	<b>Hersteller</b>
Maxcem Elite	selbstätzender, selbstadhäsiver dualhärtender Kompositzement	Front- und Seitenzahnkeramiken, Veneers, VMK und Metallrestorationen, sowie CAD/CAM-Materialien	KERR GMBH Murgstrasse 1/14 76437 Rastatt
PANAVIA™ SA Cement Plus	selbstadhäsiver Komposit- Zement	Befestigung von Kronen, Brücken, Inlays und Onlays; Befestigung von prothetischen Restaurationen auf Implantat-Abutments und Gerüsten; Befestigung von Adhäsivbrücken und Schienen; Befestigung von Stümpfen und Stiften	Kuraray Europe GmbH Philipp-Reis-Str. 4 65795 Hattersheim am Main
PermaCem 2.0	selbstadhäsiver und dualhärtender Composite Befestigungszement	Permanente Befestigung von Inlays, Onlays, Kronen, Brücken und Wurzelstiften aus Metall- und Metalllegierungen (Edel- und Nichtedelmetall), Metallkeramiken und Compositen, Vollkeramiken wie Zirkoniumoxid, Aluminiumoxid und allen Arten von Silikatkeramiken (z. B. Lithiumdisilikat, Feldspat) und faserverstärkten Compositen (Wurzelstifte) Permanente Befestigung von Kronen und Brücken auf Implantat-Abutments aus Titan oder Zirkon	DMG Chemisch- Pharmazeutische Fabrik GmbH Elbgaustrasse 248 22547 Hamburg

## Einleitung

---

<b>Produktname</b>	<b>Art (Herstellerangabe)</b>	<b>Indikation (Herstellerangabe)</b>	<b>Hersteller</b>
RelyX Unicem	selbstadhäsiver Composite- Befestigungszement	Inlays, Onlays, Kronen und Brücken (Vollkeramik, Composite, Metall) Wurzelstiften Zwei- oder dreigliedrige Maryland-Brücken* Dreigliedrigen Inlay- / Onlaybrücken* Vollkeramik-, Composite- und Metall-Restorationen auf Implantat-Abutments Dreigliedrigen Inlay- / Onlaybrücken*	3M Deutschland GmbH Carl-Schurz-Str. 1 41453 Neuss
SmartCem 2	selbstadhäsiver Zement	Befestigung von Keramik-, Komposit- und Metallbasierten Inlays, Onlays und Kronen, Brücken und Stiften	DENTSPLY DETREY GmbH De-Trey-Str. 1 78467 Konstanz
SpeedCEM Plus	selbstadhäsiver, selbsthärtender Composite- Zement	Zirkoniumoxid, z. B. Zenostar oder IPS e.max ZirCAD Metall- und metallgestützte Restorationen Lithium-Disilikat-Glaskeramik, z. B. IPS e.max	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan Fürstentum Liechtenstein

## **1.6 Der Hybridzement: RelyX Unicem im Speziellen**

Die Firma 3M Espe führte im Jahr 2002 das Material RelyX Unicem (3M Espe) in den Markt ein. Anliegen war es die Vorteile konventioneller Zemente (Zinkoxidphosphat, Glasionomer) sowie eines adhäsiven Verbunds in einem Produkt zu vereinen.

Dazu entwickelte die Firma einen dualhärtenden, selbstadhäsiven Komposit Befestigungszement, bestehend aus bifunktionellen (Meth-)Acrylaten. Der Anteil anorganischer Füllkörper beträgt ca. 72 Gewichtsprozent, die Korngröße (D 90%) liegt bei  $<9,5 \mu\text{m}$  [1].

Ohne Vorbehandlung soll die adhäsive Befestigung - vergleichbar zur Anwendung eines Zements - in nur einem Schritt gelingen. Diese starke Vereinfachung reduziert techniksensibel Schritte [39].

### **1.6.1 Praktische Aspekte / Gebrauchsanweisung**

Der Hersteller gibt in seiner Gebrauchsanweisung an, dass beim provisorischen Zementieren Produkte verwendet werden sollen, welche eugenolfrei sind, um den Polymerisationsprozess von RelyX Unicem (3M Espe) nicht zu inhibieren. Ebenso soll auf die Verwendung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  verzichtet werden, da dies die Haftfestigkeit und Aushärtereaktion beeinträchtigen kann.

Vor der endgültigen Zementierung soll der präparierte Zahn mit Bimssteinpaste gereinigt werden. Der Smear-layer soll allerdings nicht entfernt und die Zahnhartsubstanz nicht übertrocknet werden, da sonst vermehrt postoperative Sensivitäten entstehen können.

Die Auslieferung erfolgt in Applikationskapseln für die Standard Mischgeräte (RotoMix bzw. CapMix, (beide Fa. 3M Espe GmbH, Seefeld, Deutschland)).

Die Restauration muss nach Herstellerangaben vorbehandelt werden.

Aktivierung der Kapsel:

Der Aplicap Aktivator (Fa. 3M Espe GmbH, Seefeld, Deutschland) wird dazu auf eine stabile Arbeitsfläche gestellt und die Aplicap Kapsel in den Aplicap Aktivator (3M Espe) eingesetzt. Dann ist der Aktivatorhebel kräftig und bis zum

Anschlag hinunter zudrücken und 2-4 Sekunden gedrückt zu halten. Danach ist die Kapsel in dem Hochfrequenzmischgerät oder im Rotationsmischgerät zu mischen. Die Zeit von 15 Sekunden gilt für das Hochfrequenzmischgerät und im Rotationsmischgerät sollten 10 Sekunden nicht unterschritten werden. Ein Unterschreiten der angegebenen Zeiten ist zu vermeiden (ungenügendes Aushärten), längeres Mischen führt zu einer geringfügigen Beschleunigung der Abbindung.

Die Kapsel ist dann in den Aplicap Applier (Fa. 3M Espe GmbH, Seefeld, Deutschland) einzulegen und die Düse bis zum Anschlag zu öffnen. Während der Applikation und der Abbindephase ist das Arbeitsfeld vor Kontamination (Wasser, Blut, Speichel und Sulkusflüssigkeit) zu schützen.

Ausarbeitung:

Zementüberschüsse lassen sich am besten nach kurzem Belichten (2 Sekunden) wegsprengen. Man kann auch zwei Minuten nach Mischbeginn die „Gel-Phase“ abwarten, um dann die Überstände mit einem Scaler zu entfernen. Noch verbleibende Unebenheiten können dann mit zahnärztlich rotierenden Instrumenten ausgearbeitet und poliert werden.

### **1.6.2 RelyX Unicem Produktprofil**

RelyX Unicem (3M Espe) wurde seit Markteinführung in vielfältiger Hinsicht wissenschaftlich (hauptsächlich in vitro) untersucht. Wesentliches Augenmerk wurde auf die Adhäsion zu Schmelz und Dentin gelegt, [10, 25, 55, 57, 98, 146] sowie die Adhäsion zu Restaurationsmaterialien – insbesondere Vollkeramik [82, 89, 100]. Darüber hinaus wurde der Randspalt [12], das Microleakage, [12, 115, 137] die mechanischen Eigenschaften, [74, 99], die Biokompatibilität [26] und die Fluoridabgabe beurteilt.



### **1.6.3 Klinische Bewertung**

Die klinische Bewertung der Leistungsfähigkeit ist zum Datum der Durchführung der vorliegenden Studie (Ende 2012) jedoch noch gering. So sind Praxisberichte zum Umgang mit den Materialien zu finden [17].

Die klinischen Studien beim Einsatz mit vollkeramischen Restaurationen berichten über kurze Zeiträume und nur ausgewählte Indikationen [95, 96, 109]

### **1.6.4 Befestigung von vollkeramischen Restaurationen**

Geht man von den Eigenschaften und Möglichkeiten eines Befestigungsmaterials aus, muss man sich zwischen den vier möglichen Klassen und deren besonderen Eigenschaften entscheiden (s. Kapitel 1.5.2, Seite 11) um eine vollkeramische Restauration einzusetzen [27]. Dies führt allerdings dazu, dass die korrekte klinische Auswahl - trotz vielfältiger Studienergebnisse - schwierig bzw. unklar ist [114].

Deshalb bietet es sich an für die zwei Werkstoffgruppen des vollkeramischen Zahnersatzes (s. Kapitel 1.4.1, Seite 8) Befestigungsmaterialien bzw. Befestigungsmodi zu unterscheiden.

Grundsätzlich bestimmt die Biegefestigkeit der Keramiken die zu verwendende Befestigungsvariante [67, 85]:

- Hochfeste Keramiken mit einer Biegefestigkeit  $\geq 350$  MPa können sowohl konventionell zementiert wie auch adhäsiv befestigt werden.
- Keramiken mit einer Biegefestigkeit  $< 350$  MPa (Silikatkeramiken) sollten ausschließlich adhäsiv befestigt werden [14, 138].

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

**Tabelle 3 Möglichkeiten der Befestigung nach Materialklassen/ Indikation im Überblick:**  
 ++ = Beste Variante + = Mögliche Variante - = nicht möglich ( )=fraglich

Material der Restauration	Konventionell (Zement)	„Hybrid“	Adhäsiv (Composite)
Legierung	++	+	(+)
VMK (Metall-Keramik)	++	+	(+)
Oxidkeramiken (Einzelzahn, Brücke)	+	+ / (++)	++
Lithiumdisilikatkeramik (Einzelzahn, Brücke)	+	+	+ / (++)
Lithium-Silikatkeramik mit Zirkonanteil	+	+	+
Silikatkeramik (Einzelzahn)	-	(+)	++
Silikatkeramische Veneers	-	-	++

### 1.7 Zusammenfassende Betrachtung

Der Einsatz eines Hybridzementes mit adhäsiven Eigenschaften verspricht in der Versorgung von Zähnen mit vollkeramischen Restaurationen vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der Kombination von Materialien und Restaurationstyp. Grundsätzlich könnte ein Hybridzement, wie RelyX Unicem (3M Espe), für alle indirekten Restaurationen eingesetzt werden.

Bei oxidkeramisch-basierten Restaurationen ist jedoch fraglich, ob vergleichsweise weniger Komplikationen auftreten als dies für die konventionelle Befestigung berichtet ist.

Bei der Befestigung von Silikatkeramiken ist fraglich, ob die adhäsive Kompetenz des Hybridzements ausreichend ist, um nicht zu einer höheren Rate von Komplikationen bei den Restaurationen (Lösen, Frakturen) zu führen.

Der klinische Einsatz bei vollkeramischen Restaurationen beider Materialklassen (Oxid- und Silikatkeramik) sowie verschiedener Indikationen (Brücken, Kronen, Teilkronen, Inlays) im Setting nur eines Anwenders (im Sinne einer Klinik) ist in der Literatur bis dato nicht beschrieben.

### **1.8 Ziel und Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit**

Ziel ist es, die klinische Leistungsfähigkeit des Befestigungsmaterials RelyX Unicem (3M Espe) bei festsitzenden vollkeramischen Restaurationen und deren Pfeilerzähnen zu ermitteln.

Dazu stellen sich folgende Forschungsfragen:

- 1) Wie hoch ist die Prävalenz und wie verteilt sich das zeitliche Auftreten von unerwünschten Ereignissen für Restaurationen und Zähne, die auf das Befestigungsmaterial zurückzuführen sind?
- 2) Welche technischen Ereignisse werden an vollkeramischem Zahnersatz, der mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt ist, beobachtet?
- 3) Welche Qualität haben mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzte Restaurationen insbesondere hinsichtlich der Randqualität?
- 4) Werden an mit RelyX Unicem (3M Espe) befestigten Restaurationen Veränderungen der gingivalen und parodontalen Gesundheit beobachtet?

## **2. Material und Methoden**

Zur Beantwortung der Frage, wie leistungsfähig das Befestigungsmaterial RelyX Unicem (3M Espe) bei vollkeramischen Restaurationen ist, wird eine retrospektive Auswertung der Dokumentation „Vollkeramik“ an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Tübingen, durchgeführt.

Seit dem Jahr 2003 wird an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Tübingen, das Befestigungsmaterial RelyX Unicem (3M Espe) in der Routine vornehmlich bei vollkeramischen Versorgungen eingesetzt und mit Bewertung der Vollkeramikrestaurationen (s. Kapitel 2.2, Seite 30) dokumentiert.

Die Dokumentation „Vollkeramik“ erfasst standardmäßig alle mit Vollkeramik versorgten Patienten anhand eines einheitlichen CRF Formulars.

Beim Eintrag in das Register werden Restauraionsart und Befestigungsmodus/-system dokumentiert.

### **2.1 Patienten und Behandlung**

#### **2.1.1 Auswahlkriterien in der Datenbank**

Aus der Dokumentation „Vollkeramik“ wurden alle Versorgungen welche mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden, zur Auswertung herangezogen. Alle Versorgungen, welche zwischen dem 12.06.2003 und dem 28.01.2011 eingesetzt wurden, sind berücksichtigt. Die letzte Untersuchung die zur Auswertung zugelassen wird ist der 15.07.2011 (Mindestbeobachtungsdauer 6 Monate).

Es werden alle Restaurationen berücksichtigt, die auf natürlichen Zähnen befestigt wurden.

### **2.1.2 Behandlungsstandard zum Befestigungsmaterial RelyX Unicem**

RelyX Unicem (3M Espe) wurde für folgende klinische Situationen standardmäßig eingesetzt:

1. Brücken auf Basis von Zirkonoxid (außer IPS e.max ZirCAD (Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Fürstentum Liechtenstein))
2. Einzelkronen auf Basis von Zirkonoxid (außer IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent))
3. Restaurationen auf Basis der Silikatkeramik VITABLOCS Mark II (Fa. VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland) sowie Paradigm C (Fa. 3M Espe GmbH, Seefeld, Deutschland) (Leuzitkeramik).

Einschränkung/Erweiterung:

- Die Verwendung mit dem zirkonoxid-basiertem System „IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent)“ war nur in Situationen zulässig, die eine adhäsive Befestigung nicht erlaubten.
- Der Einsatz mit anderen Silikatkeramiken und Lithiumdisilikat-Keramiken war ebenso nur in klinischen Situationen zulässig, die eine aufwändige und volladhäsive Befestigung nicht sicher ermöglichten ODER die klinische Situation zeitlich keine adhäsive Befestigung zuließ.

Es kam RelyX Unicem (3M Espe) als Kapsel zum Einsatz.

Die Vorbereitung der Restaurationen folgte den Herstellerangaben und den Empfehlungen für adhäsives Einsetzen (s. Kapitel 1.5.4, Seite 14).

Die Zahnhartsubstanz wurde mit Bims-Schlamm und SONICflex clean (Fa. KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland, #0.571.04x2) sowie Wasserspray gereinigt. Dem Behandler war es überlassen Schmelzanteile zuvor für 30 Sekunden zu ätzen. Das Einsetzen erfolgte immer unter relativer Trockenlegung.

RelyX Unicem (3M Espe) wurde nach Herstellerangaben aktiviert und gemischt (s. Kapitel 1.6, Seite 21) sowie [1] in / auf die Restauration aufgebracht.

Nach dem Einsetzen der Restaurationen wurden Überschüsse zwei Sekunden mit UV-Licht angehärtet, mit der zahnärztlichen Sonde entfernt und der Randspalt je Seite weitere 20 Sekunden ausgehärtet. [1]

### 2.1.3 Benutzte Keramik Systeme

In Tabelle 4 ist eine Übersicht dargestellt, in der erkennbar ist, welche Keramik Systeme benutzt wurden. Die Abbildung 13 auf Seite 50 stellt dies grafisch nach Häufigkeit dar.

**Tabelle 4 Übersicht über die verwendeten Keramik Systeme**

System (Handelsname)	Hersteller	Materialart	Verblendmaterial (Handelsname)
Cercon / Cercon HT	DeguDent GmbH Rodenbacher Chaussee 4 D-63457 Hanau-Wolfgang	Zirkoniumdioxid	Cercon ceram kiss (Feldspat)
Cergo press	DeguDent GmbH Rodenbacher Chaussee 4 D-63457 Hanau-Wolfgang	Leuzitglaskeramik	--/--
e.max Press	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan Fürstentum Liechtenstein	Lithium-Disilikat- Glaskeramik	e.max Ceram
e.max ZirCAD	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan Fürstentum Liechtenstein	Zirkonoxid	e.max Ceram
Empress 1	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan Fürstentum Liechtenstein	Leuzitglaskeramik	'--/--
Empress 2	Ivoclar Vivadent AG Bendererstrasse 2 FL-9494 Schaan Fürstentum Liechtenstein	Lithium-Disilikat- Glaskeramik	--/--
etkon	Straumann Jechtinger Strasse 9 D-79111 Freiburg	Zirkondioxid	div. Feldspatkeramiken (VM9, Cercon Ceram Kiss)

## Material und Methoden

<b>System (Handelsname)</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Materialart</b>	<b>Verblendmaterial (Handelsname)</b>
Lava	3M Deutschland GmbH Carl-Schurz-Str. 1 41453 Neuss	Zirkoniumdioxid	VM9 oder Cercon Ceram Kiss
VITABLOCS Mark II	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG Spitalgasse 3 79713 Bad Säckingen	Feldspatkeramik	--/--
Organic Zirkon	R+K CAD/CAM Technologie GmbH & Co. KG Ruwersteig 43 12681 Berlin	Zirkoniumdioxid	div. Feldspatkeramiken (VM9, Cercon Ceram Kiss)
Paradigm C	3M Deutschland GmbH Carl-Schurz-Str. 1 41453 Neuss	Leuzitglaskeramik	--/--
Pearl Ceram	TEAMZIEREIS GmbH Ralph Ziereis Gewerbepark 11 75331 Engelsbrand	Zirkoniumdioxid	VM7
Vita In-Ceram YZ	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG Spitalgasse 3 79713 Bad Säckingen	Zirkoniumdioxid	VM9
ZirkonZahn	Zirkonzahn GmbH An der Ahr 7 I-39030 Gais	Zirkoniumdioxid	div. Feldspatkeramiken

**Fortsetzung von Tabelle 4    Übersicht über die verwendeten Keramik Systeme**

### 2.1.4 Behandler

Die Versorgungen wurden von unterschiedlichen Behandlern eingesetzt. Für alle Behandler galt das Standardarbeitsprotokoll für die Befestigung mit RelyX Unicem (3M Espe) (s. Kapitel 2.1.2).

## **2.2 Nachuntersuchungen und Dokumentation**

### **2.2.1 Untersuchungstermine der Patienten**

Alle Patienten mit vollkeramischen Restaurationen haben das Angebot an der Vorsorgeuntersuchung mit Dokumentation im „Keramikregister“ teilzunehmen. Die in der Untersuchung erhobenen Daten zum Zahnstatus und Hygienestatus sowie zur Qualität der vollkeramischen Restaurationen werden in Form von pseudonymisierten Fallbögen (CRFs) an die Studienzentrale gesendet und ebenda gelagert. In der Regel melden sich die Patienten zur jährlichen Kontrolle selbstständig. Sollte ein Patient in einem Kalenderjahr nicht zur Kontrolle erschienen sein, wird er im Folgejahr zur Kontrolle eingeladen. Die Einladung und Nachuntersuchung führt in der Regel der Zahnarzt durch, der den Patienten behandelt / versorgt hat. Allerdings ist durch zeitliche Verläufe / Arbeitsplatzwechsel auch eine Nachuntersuchung durch einen anderen Zahnarzt als dem Behandler möglich.

### **2.2.2 Untersucher der Patienten**

Alle Untersucher waren im Nachuntersuchungsmodus und den Qualitätsbewertungen (CDA-Kriterien, s. Kapitel 2.2.5, Seite 32) geschult. Eine Kalibrierung der Untersuchung wird im Rahmen der Ausbildung zum Prüfarzt für Zahnersatzbewertung in der Dokumentation „Vollkeramik“ durchgeführt.

### **2.2.3 Nachuntersuchung der Patienten**

Die Nachuntersuchung eines Patienten mit vollkeramischer Restauration gliedert sich in vier Abschnitte:

1. Anamnestische Befragung zur Allgemeingesundheit sowie zu zahnärztlichen Problemen / Missempfindungen seit dem letzten Besuch.
2. Erhebung des Zahnstatus gemäß BEMA Ziffer 01 mit einer zahnärztlichen Sonde, Kuhhornsonde und Spiegel.
3. Erhebung eines vereinfachten Hygienestatus mit zwei Sondierungen der parodontalen Taschen je Zahn (SST und BoP). SST und BoP wurde mit der drucksensitiven Sonde DB765R 0,2N (Fa. Aesculap AG, Tuttlingen,



Deutschland) durchgeführt. Diese Sonde hat einen fest vorgegebenen Druckpunkt um die Werte vergleichbar und Behandler unabhängig zu erfassen.

4. Qualitätsbewertung gemäß modifizierter CDA Kriterien eines jeden Zahnes und jeden Brückenglieds, der / das vollkeramisch restauriert wurde. Gegebenenfalls mit bewaffnetem Auge (4fach Lupenbrille, Zeiss).

### **2.2.4 Dokumentation aus dem Zahnstatus und Hygienebefund**

In der Nachuntersuchung erhobene Daten werden in den Zahnschemata des CRF dokumentiert. Konkret wird Folgendes festgehalten:

- Datum der Untersuchung
- Vorhandene Zähne
- Perkussionstest der vorhandenen Zähne
- Vitalitätsprobe der vorhandenen Zähne
- Füllungen, Kronen und Brücken
- Wurzelkanalbehandlung und/oder Wurzelstift
- SST jeweils mesial und distal an den vorhandenen Zähnen (Werte in mm)
- BoP jeweils mesial und distal an den vorhandenen Zähnen (Werte als Index 0 = keine Blutung; 1 = punktförmige Blutung; 2 = strichförmige Blutung; 3 = starke Blutung)

Von jeder vollkeramischen Versorgung wurden noch folgende Variablen dokumentiert:

- Zahn (FDI Code)
- Therapie Nr. (die wievielte Versorgung mit Vollkeramischem Zahnersatz ist die jetzige Therapie am Zahn; Regelfall=1)
- Restaurationsart (s. Kap. 1.4.1)
- Lage des vestibulären Restaurationsrandes
  - paragingival
  - sub- oder supragingival, jeweils: bis 1, 1-2, über 2mm

Zusätzlich erfolgt die Dokumentation unerwünschter Ereignisse und die Qualitätsbewertung jeder vollkeramischen Restauration (siehe folgendes Kapitel).

### **2.2.5 Dokumentation unerwünschter Ereignisse und die Qualitätsbewertung als dokumentiertes Verfahren**

Die Qualitätsbewertung besteht aus einer Sichtprüfung der Restauration unter Zuhilfenahme einer Sonde und gegebenenfalls einer Bewaffnung des Auges zur Verifizierung der angelegten Kriterien.

Die Kriterien basieren auf den sogenannten Ratings der California Dental Association „CDA-Rating“ zur klinischen Bewertung indirekter Restaurationen [118].

Operationalisiert folgt eine Abstufung jedes Kriteriums von A (Alfa) nach D (Delta) und die abschließende Gesamtbewertung in der Klassifizierung nach:

- Call Romeo (R) für einwandfreie Restaurationen
- Call Sierra (S) für akzeptable Restaurationen
- Call Tango (T) für fragliche Restaurationen (relativer Misserfolg)
- Call Victor (V) für gescheiterte Restaurationen (absoluter Misserfolg)

Dazu beginnt die Untersuchung - mit Rücksicht auf die spezielle Anamnese (siehe oben) - mit einer Bewertung zu „Unerwünschten Ereignissen“ (AE) am Zahn und dessen Restauration. Schwere unerwünschte Ereignisse sind all diejenigen, welche ein Versagen des Zahnersatzes oder Zahnes in seiner Funktion im Munde dokumentieren.

Konkret werden unerwünschte Ereignisse wie folgt untersucht und bewertet:

- Hypersensibilität auf Kälte oder Wärme  
behandelbar durch Desensitizer (= B)  
oder nur durch endodontische Maßnahme (= C)  
wenn ja = AE, Rating maximal S, ggf. T
- Aufbisserschmerz beim Kauen oder Provokation auf Holzkeil  
behandelbar durch Einschleifmaßnahmen (= B)  
oder endodontische Maßnahme (= C)  
oder Extraktion (= D)  
wenn ja = AE, Rating maximal S, ggf. T, bei D = SAE = V
- Riss in der keramischen Oberfläche, der nicht sondierbar ist  
wenn ja = AE, Rating maximal S, ggf. R (wenn nur übertrocknet und mit  
Hilfsmittel sichtbar)
- Chip-off (Abplatzung von Keramik ohne Verlust der anatomischen  
Struktur des Zahnes)  
polierbar (= B)  
stört es den Patienten (= C)  
wenn ja = AE, Rating bestenfalls S, ggf. T
- Verblendfraktur (Abplatzung von Keramik mit Verlust der anatomischen  
Struktur des Zahnes)  
polierbar/reparierbar (= C)  
langfristig erneuerungswürdig (= D)  
wenn ja = AE, Rating bestenfalls T oder bei D = V
- Fraktur mit Gerüstbeteiligung (Abplatzung von Keramik mit Freilegung  
des Gerüsts oder von Zahnhartsubstanz, erneuerungsbedürftig)  
wenn ja = SAE, (Rating V)

Daran anschließend erfolgt die Bewertung der Integrität der Restauration über Untersuchung von Randspalt, Randübergang und farbliche Einpassung des Randes/der Restauration. Dokumentiert wird erneut über Ratings der

Operationalisierung. Vergleiche dazu auch **Abbildung 4** **Abbildung 6** auf Seite 35-36.

- ➔ Randspalt: sondierbar ja / nein [nein = einwandfrei = A]
  - Ja: liegt Dentin offen? Ja / nein [nein = akzeptabel = B]
  - Ja: Fraktur / Substanzverlust? Ja / nein [nein = fragwürdig = C]
  - Ja: Misserfolg = D
- ➔ Karies am Rand? Ja / nein [nein = einwandfrei = A]
  - Ja = Misserfolg = D
- ➔ Randverfärbung? Ja / nein [nein = einwandfrei = A]
  - Ja = dringt in die Tiefe? Ja / nein [nein = akzeptabel = B]
  - Ja = fragwürdig = C
- ➔ Farbe: Unterschied? Ja / nein [nein = einwandfrei = A]
  - Ja = gravierend / fremd? Ja / nein [nein = akzeptabel = B]
  - Ja = fragwürdig = C

Die abschließende klinische Bewertung ergibt sich aus der schlechtesten Bewertung eines oben beschriebenen Ratings:

- ➔ R (Romeo) = einwandfrei (alle A)
- ➔ S (Sierra) = akzeptabel (mindestens ein Rating B, aber kein C oder D)
- ➔ T (Tango) = fragwürdig (mindestens ein Rating C, aber kein D)
- ➔ V (Victor) = Misserfolg (ein Rating D)

Unerwünschte Ereignisse können auch im Verlauf auftreten und somit unabhängig von einer Nachuntersuchung dokumentiert sein. Deshalb kann unerwünschten Ereignissen im Sinne von Komplikationen am Zahnersatz das Datum ihres Auftretens aus der Patientendokumentation oder das der Patientenaussage zugeordnet werden. (siehe auch Kapitel 0, Seite 42)

**Vergleiche dazu auch **Abbildung 4** **Abbildung 6** auf Seite 35-36.**

# 1 Krone: Code SIERRA



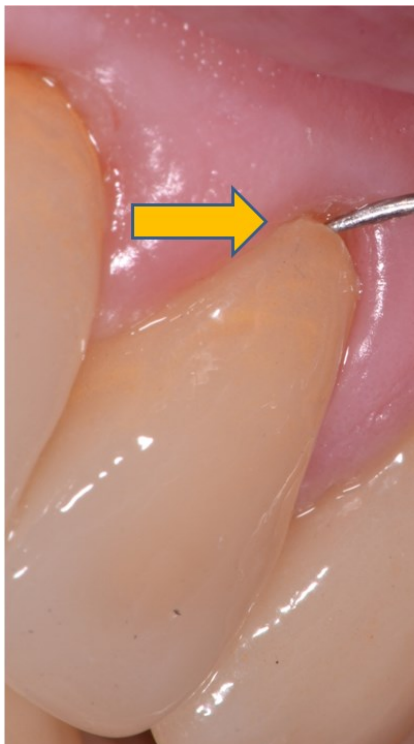
Randverfärbung → B

Rand nicht  
sondierbar  
kein Farbunterschied  
keine Karies

keine Abplatzungen  
der Keramik,

keine dentalen  
Probleme.

**Abbildung 5:** Beispieltafel zur Kalibrierung von Untersuchern mit Darstellung einer Randverfärbung, die nicht entfernbar ist und nicht in die Tiefe dringt. Die Krone wurde insgesamt als „akzeptabel“ (CDA Rating „Sierra“) bewertet.



**CDA Rating:**

Randspalt sondierbar &  
es liegt Dentin offen = C

keine Randverfärbung = A

keine Karies am Rand = A

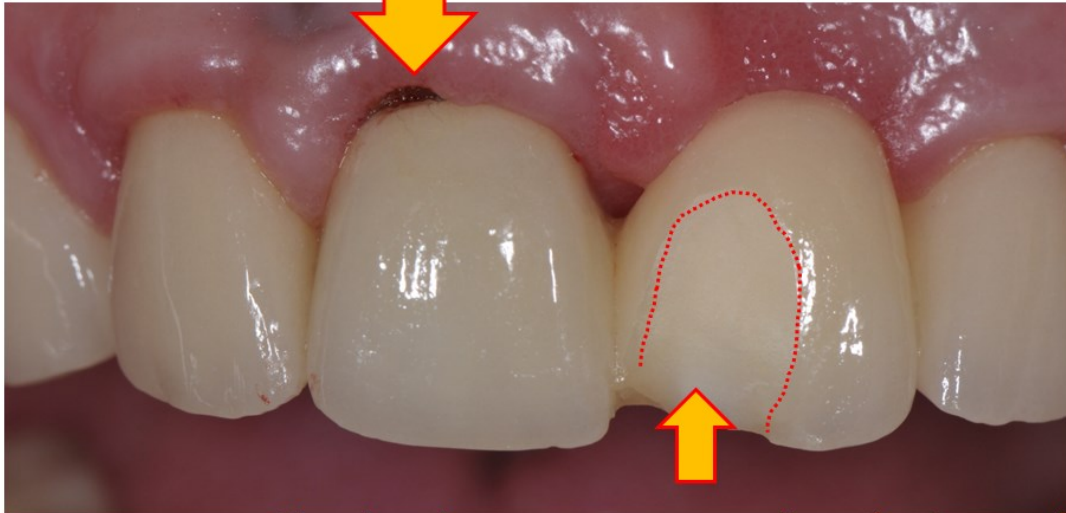
kein Farbunterschied = A

→ **Code: Tango**  
**(=fraglich)**

**Abbildung 4 :** Beispieltafel zur Kalibrierung von Untersuchern mit Darstellung einer mangelhaften Randpassung vestibulär, die sondierbar ist aber keiner Fraktur und keinem Substanzverlust geschuldet ist. Die Krone wurde insgesamt als „fraglich“ (CDA Rating „Tango“) bewertet.

Randspalt sondierbar, offenliegendes Dentin, Substanzverlust  
Randverfärbung die in die Tiefe dringt, sowie Karies:

**CDA Rating der Brücke: DDDA**



**+ Keramikabplatzung Grad 3 (Victor)**

**→ Code: Victor (=failed)**

**Abbildung 6** : Beispieltafel zur Kalibrierung von Untersuchern mit Darstellung einer gescheiterten Brücke von Zahn 12,11 auf Zahn 22 zum Ersatz von 21. Die Verblendkeramik des Zwischenglieds frakturierte vestibulär mit einhergehendem Verlust der anatomischen Form, sodass eine Reparatur langfristig nicht ausreichend wäre. Am Pfeilerzahn 11 fand sich eine kariöse Läsion (Wertung: Delta) einhergehend mit einer Sondierbarkeit offenliegenden Dentins, Substanzverlustes und einer Randverfärbung. (jeweils Wertung Delta). Die Farbe passte sich allerdings harmonisch in die Zahnreihe ein (Wertung: Alfa)

## **2.3 Variablenauswahl zur Beantwortung der Forschungsfragen**

### **2.3.1 Auswertung der klinischen Leistungsfähigkeit**

Zur Auswertung der klinischen Leistungsfähigkeit werden folgende Variablen herangezogen:

Alle Variablen beziehen sich auf die Merkmale

- I) den Patienten
- II) die Konstruktion (bei Brücken und verblockten Kronen)
- III) den Zahn
- IV) den Zahn im Bezug zu einem Vergleichszahn im selben Patienten (s. Kap. 2.3.2)

Dabei sind alle Variablen jeweils an den Beobachtungszeitpunkt des Ereignisses gekoppelt. Dies ist das Datum der klinischen Untersuchung (Nachuntersuchung) oder des Auftretens bzw. der Beobachtung eines unerwünschten Ereignisses.

Die Variablen werden ausgewertet

- i) in Bezug auf ihre Häufigkeit und Verteilung während des gesamten Beobachtungszeitraumes
- ii) mit Bezug auf ihr zeitliches Auftreten nach dem Einsetzen der Restauration

Dabei werden die Variablen – soweit sinnvoll – hinsichtlich der Merkmale I-III gruppiert:

#### **I. Variablen für Patienten**

- a. Geschlecht
- b. Geburtsdatum zur Bestimmung des Alters mittels Zeitdauer  
Geburtsdatum → Einsetzdatum

#### **II. Variablen der Konstruktionen**

- a. Einsetzdatum

- b. Restaurationsmaterial
  - i. Oxidkeramik
  - ii. Silikatkeramik
- c. Restaurationsart
  - i. Brücke mit Brückenpfeiler und Brückenglied (Pontic)
  - ii. Krone
  - iii. Teilkrone
  - iv. Onlay
  - v. Inlay
- d. FDI-Code der versorgten Zähne (inkl. Fehlende)
- e. Lage der Konstruktion im Kiefer
  - i. Anterior = zwischen den Eckzähnen (inklusive)
  - ii. Posterior = ab den Prämolaren nach distal
- f. Lage der Konstruktion im Munde
  - i. Oberkiefer
  - ii. Unterkiefer
- g. CDA-Bewertungen
  - i. Lage des Randspalts
  - ii. Sondierbarkeit des Randes
  - iii. Randverfärbung
  - iv. Karies am Rand
  - v. Farbenunterschied der Restauration
  - vi. Gesamtbewertung der Restauration

### **III. Variablen des Zahnes (III)**

- a. FDI-Code des betroffenen Zahnes
- b. Sensibilität / Vitalität oder Hypersensibilität
- c. Perkussion oder Aufbissschmerz
- d. Wurzelbehandlung & Stiftversorgung
  - i. jeweils Ja/Nein ggf. unbekannt
- e. Mesiale und distale SST-Wert (in mm)
- f. Mesiale und distale BoP-Wert (als Index)
  - i. 0 = Keine Blutung



- ii. 1 = punktförmige Blutung
- iii. 2 = strichförmige Blutung
- iv. 3 = starke Blutung

#### **IV. Variablen des Vergleichszahnes (s. Kapitel 2.3.2)**

- a. FDI-Code
- b. Mesiale und distale SST-Wert (in mm)
- c. Mesiale und distale BoP-Wert (als Index)
  - i. 0 = Keine Blutung
  - ii. 1 = punktförmige Blutung
  - iii. 2 = strichförmige Blutung
  - iv. 3 = starke Blutung

#### **2.3.2 Auswahl von Vergleichszähnen (Referenzzähnen) für parodontale Parameter**

Für jeden CDA untersuchten Zahn wurden die mesiale und distale Sondierungstiefe (SST) und das folgende Bleeding on Probing (BOP) dokumentiert.

Zur Relativierung dieser Messungen wurden diesen die Werte von Referenzzähnen gegenübergestellt. Die Auswahl der Referenzzähne erfolgte nach folgendem Schema / Hierarchie:

1. gleicher Zahn im anderen Quadrant des selben Kiefers
2. gleicher Zahn im anderen Kiefer der anderen Seite
3. gleicher Zahn im anderen Kiefer der gleichen Seite
4. der mesiale Nachbarzahn in der Reihung von 1-3
5. der distale Nachbarzahn in der Reihung von 1-3

Ein Zahn kann dann nicht Referenzzahn sein, wenn er

- a) nicht vorhanden ist ODER
- b) durch eine ebenfalls untersuchte Konstruktion versorgt ist

Daher werden im Falle von a) und b) die Werte „88“ und „99“ vergeben.

Dabei gilt für

88: es sind keine Referenzzähne vorhanden (Bedingung A)

99: die Referenzzähne sind untersuchte Zähnen (Bedingung B)

### 2.3.3 Variablen zur Erfolgsbewertung des Befestigungsmaterials

Den Anforderungen an ein Befestigungsmaterial folgend (s. Kapitel 1.5.1, Seite 9) müssen folgende Variablen zur Erfolgsbewertung herangezogen werden:

- Veränderung der parodontalen Gesundheit = erhöhte Sulkussondierungstiefen oder erhöhte Blutungsneigung im Vergleich zu Referenzzähnen.
- Veränderung der endodontalen Gesundheit = Auftreten von Hypersensibilitäten, Pulpanekrosen, Notwendigkeit von endodontischen Behandlungen.
- Qualität des Randspalts = Sondierbarkeit am Übergang Restauration - Zahn, Vorliegen von Karies (Microleakage).
- Qualität der Ästhetik = Verfärbung eines sichtbaren Randspalts durch Microleakage oder Verfärbung des Befestigungsmaterials.
- Beständigkeit der Befestigung = Verlust der Retention der Restauration.
- Mechanische Beständigkeit = Fraktur der Restauration, Fraktur und Substanzverlust im Randbereich.

### 2.3.4 Definition von Erfolg, Komplikation und Misserfolg

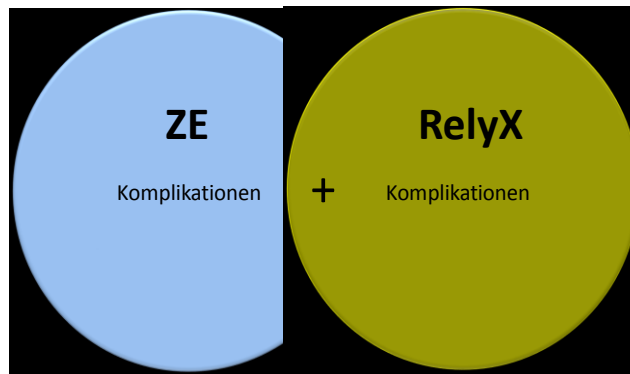
**Erfolg** einer Restauration bedeutet, dass zahnärztlich keine Intervention notwendig ist. Die Restauration wird schmerzfrei vom Patienten getragen, erfüllt die uneingeschränkte Funktion zum Zerkleinern von Nahrung, zur Ästhetik und Phonetik sowie hinsichtlich der anatomischen Form/ Gestaltung. Die Restauration ist von einem gesunden Gewebe (Gingiva, Knochen) umgeben, welches sich seit der Eingliederung nicht restaurationsbedingt verändert hat.

Sämtliche Ereignisse und Beobachtungen die diesen Zustand kompromittieren werden als unerwünschte Ereignisse bzw. Komplikationen eingestuft.

Eine **Komplikation** liegt dann vor, wenn zahnärztlicher Behandlungsbedarf gegeben ist.

Ist der zahnärztliche Behandlungsbedarf so weitführend, dass die Funktion der Restauration (Integrität) oder des gesamten Pfeilerzahnes kurz- oder mittelfristig nicht wiederhergestellt werden kann, so liegt ein Versagen bzw. **Misserfolg** vor.

In der vorliegenden Arbeit ist es notwendig die Ursache einer Komplikation respektive eines Misserfolgs zu bewerten. Ist diese Ursache dem Befestigungsmaterial RelyX Unicem (3M Espe) oder der Restauration / dem Restaurationsmaterial zuzurechnen? Wie in Abbildung 7 gezeigt, gibt es bei dieser Zuordnung eine Schnittmenge.



**Abbildung 7** Ursachen-Zuordnung von Komplikationen und Misserfolg

Um eine Aussage über das Befestigungsmaterial und das Restaurationsmaterial bzw. die Restauration treffen zu können wird folgende Zuordnung von unerwünschten Ereignissen in Tabelle 5 getroffen.

**Tabelle 5** Zuordnung der Unerwünschten Ereignisse für die weiteren Berechnungen

<b>Bewertung als</b>	<b>Restaurations- assoziiert</b>	<b>Schnitt menge</b>	<b>Befestigungsmaterial assoziiert</b>
Komplikation / AE	Verlust der Befestigung		Verlust der Befestigung
	Alle Ratings „T“ Chip-offs		Hypersensibilität (irreversibel, Rating C)
Versagen / SAE	Alle Ratings „V“ Karies am Rand (Rating D)		Karies am Rand (Rating D)
	Fraktur der Restauration	Randspalt sonderbar (Rating C und D)	

### 2.3.5 Statistische Methoden zur Auswertung der Variablen

*Prävalenzen und Häufigkeitsverteilungen im gesamten Beobachtungszeitraum*

Es werden Histogramme bzw. Häufigkeitsverteilungen einer der Variablen von I-III unter Angabe von Median und Mittelwert (MW) sowie Standardabweichung (SD) ggf. im Kontext der Häufigkeitsverteilung weiterer Variablen erstellt.

Es wird die Prävalenz von Ereignissen als Quotient aus Anzahl der Konstruktionen oder Patienten welche von aufgetretenen Ereignissen betroffen sind (s. Kap 2.3.1) und der Anzahl aller Konstruktionen oder Patienten dieser Gruppe.

*Zeitliches Auftreten und Veränderung von Variablen während der Tragezeit*

Angewendet wird die Überlebensfunktion als kumulierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen nach Kaplan-Meier für die Misserfolgs Variablen (s. Kapitel 2.3.3 ) [64].

Die Beobachtungszeit bezeichnet man als den Zeitraum zwischen Einsetzen der Restauration und Auftreten eines Ereignisses bzw. einer Nachuntersuchung. Zeitpunkt der letzten Untersuchung oder Entfernung / Versagen eine Restauration ist die maximale Beobachtungszeit.

Maßgeblicher Zeitpunkt für die Schätzung der Überlebensfunktion ist die mediane Beobachtungszeit; also der Zeitpunkt wenn weniger als die Hälfte aller Konstruktionen der kleinsten Auswertungsgruppe unter Risiko ist.

Diesem Wert der Kaplan-Meier-Funktion wird das jeweilige 95% Konfidenzintervall beigeordnet.

Unterschiede zwischen Wahrscheinlichkeitsfunktionen zweier Einflussvariablen (z.B. Lage des Zahnes im Kiefer) werden mittels Log-Rank Test überprüft.

Qualitätsvariablen werden im zeitlichen Verlauf auf Häufigkeitsanteile (absolute und relative Häufigkeit) im Jahresturnus dargestellt. Unterschiede werden mittels Chi-Quadrat-Test ermittelt. Alle statistischen Tests nehmen eine Irrtumswahrscheinlichkeit (Fehler erster Art) von 5% an.

Unterschiede einer Abweichung um 20% werden als klinisch relevant betrachtet.

Der Vergleich von paarigen Messwerten (Variablen des Hygienestatus verglichen zwischen Restaurationszähnen und Referenzzähnen) erfolgt nach der Methode von Bland & Altman [7, 15]. Hierbei wird angenommen, dass im selben Patienten durch denselben Untersucher nur dann ein Unterschied von Blutung und Sondierungstiefe gemessen wird, wenn dieser auch tatsächlich zwischen den beiden untersuchten Zähnen vorliegt. Vorausgesetzt wird also, dass der kalibrierte Untersucher zum selben Zeitpunkt (der Untersuchung) reproduzierbar misst. Als relevanter Unterschied wird im Mittelwert eine Differenz von 1 mm Sondierungstiefe sowie einem Grad der Blutungsneigung (BoP) festgelegt.

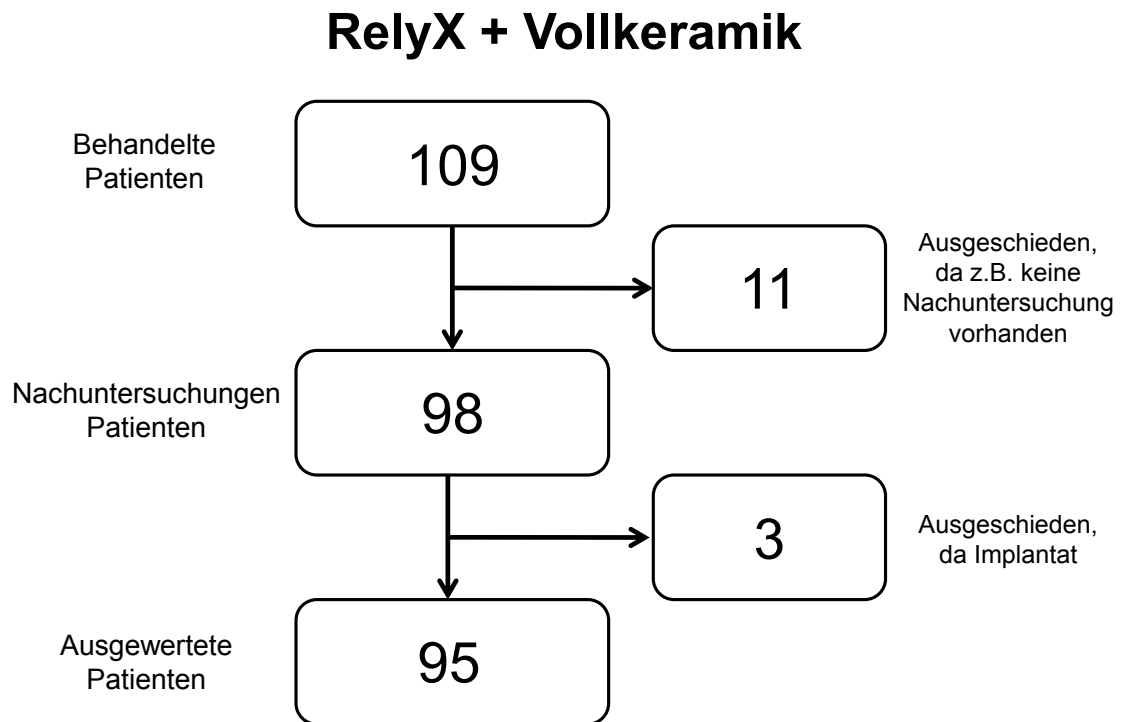
Die beschriebenen Auswertungen werden mit Hilfe der Statistiksoftware JMP (SAS Institute) in Version 11.1 durchgeführt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Zusammensetzung der ausgewerteten Kohorte

##### 3.1.1 Berücksichtigte Patienten

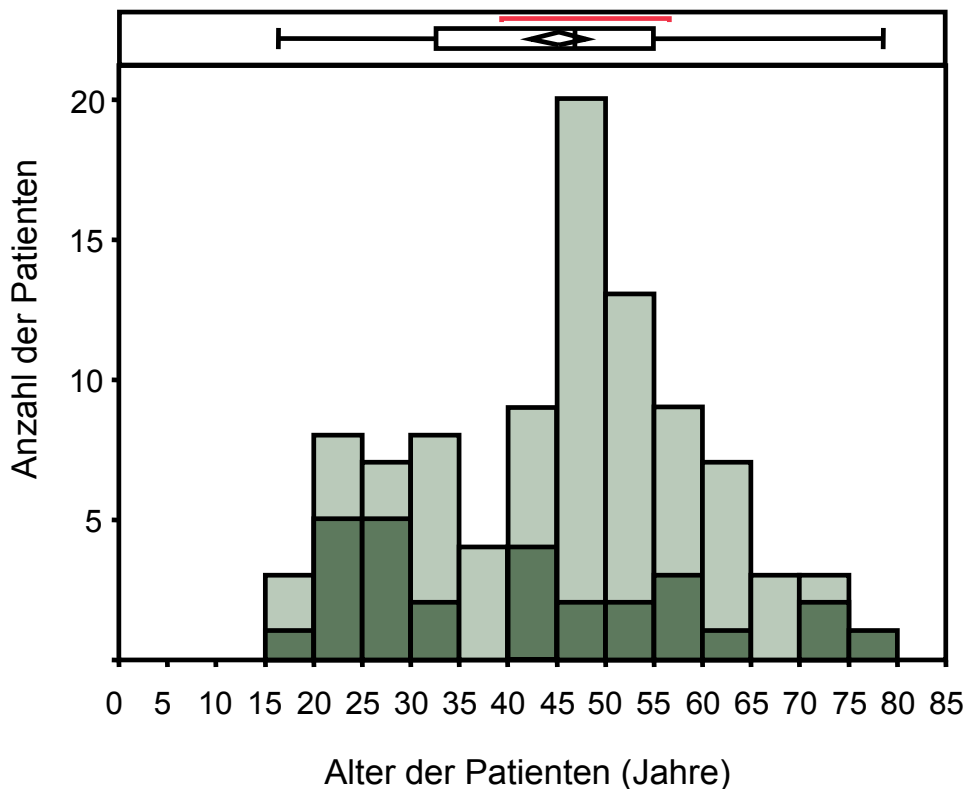
In der Datenbank wurden 109 Patienten, die Restaurationen mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt bekamen, identifiziert. In den Auswertungszeitraum konnten 98 Patienten mit Nachuntersuchungen eingeschlossen werden. Von diesen Patienten mussten drei Patienten hinsichtlich Vergleichbarkeit (Kronen auf Implantaten) von der Auswertung ausgeschlossen werden. Es blieben zur Auswertung 95 Patienten übrig siehe Abbildung 8.



**Abbildung 8** Übersicht über die zur Auswertung herangezogenen Patienten

## Ergebnisse

Bei diesen 95 Patienten wurden insgesamt 349 vollkeramischen Versorgungen nachuntersucht. Alle Versorgungen wurden mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt. Davon waren 28 Patienten männlich und 67 Patienten weiblich. Bei den 28 männlichen Patienten wurden 99 Versorgungen nachuntersucht. Bei den 67 weiblichen Patienten waren es 250 Versorgungen. Das Alter der Patienten betrug im MW 45 Jahre (Median: 47 Jahre; die SD: 14,2 Jahre) siehe Abbildung 9. Dabei gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen (MW  $_{\text{Alter Männer}}$  = 42 Jahre; median  $_{\text{Alter Männer}}$  = 41 Jahre; SD  $_{\text{Alter Männer}}$  = 17,4 Jahre. MW  $_{\text{Alter Frauen}}$  = 47 Jahre; median  $_{\text{Alter Frauen}}$  = 48 Jahre; SD  $_{\text{Alter Frauen}}$  = 12,4 Jahre).



**Abbildung 9** Alter der Patienten bei Versorgungsbeginn. Dunkelgrün sind die männlichen Patienten markiert.  
Gesamt: Median: 47 Jahre; MW: 45 Jahre; SD: 14,2 Jahre  
Männer: Median: 41 Jahre; MW: 42 Jahre; SD: 17,4 Jahre  
Frauen: Median: 48 Jahre; MW: 47 Jahre; SD: 12,4 Jahre

### 3.1.2 Eingegliederte und beobachtete Restaurationen

In Abbildung 10 ist dargestellt, wie viele Patienten wie viele Versorgungen erhalten haben. 34 Patienten haben eine Versorgung. Dies stellt den höchsten Anteil dar.

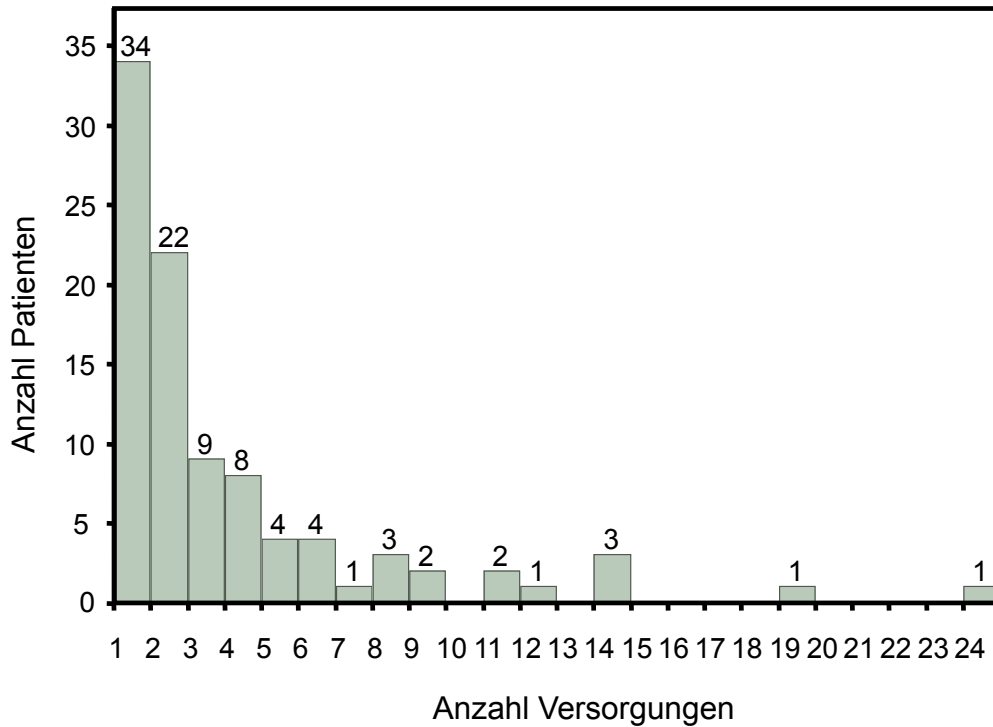


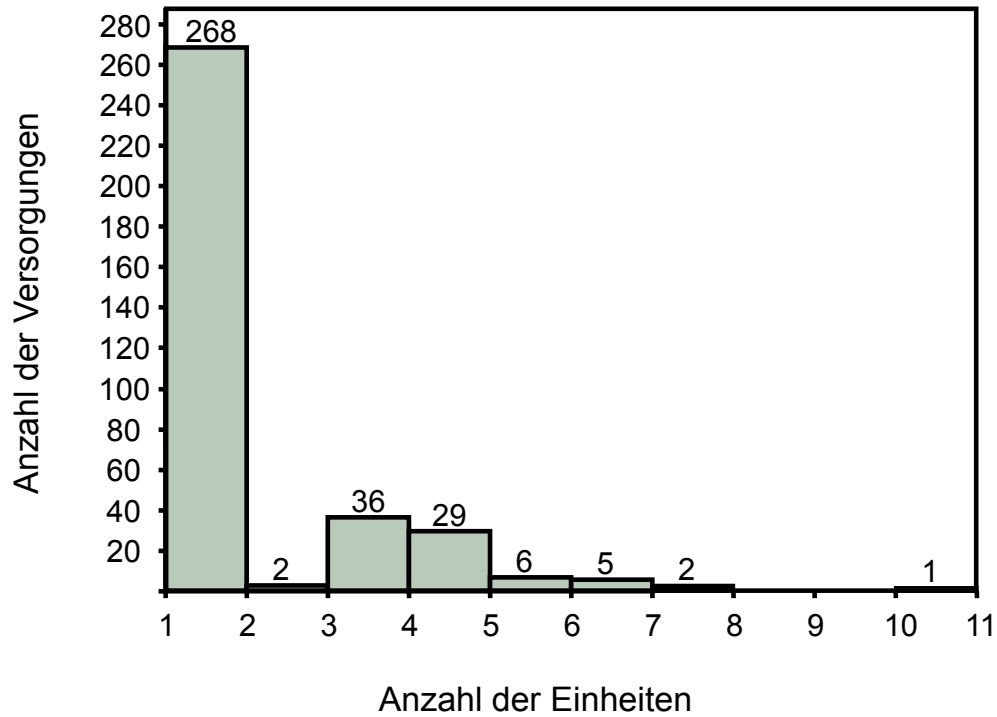
Abbildung 10 Anzahl der Patienten in Relation zur Anzahl der Versorgungen



## Ergebnisse

---

Abbildung 11 stellt dar, dass 268 Versorgungsungen eingliedrig, 2 Versorgungsungen zweigliedrig, 36 Versorgungsungen dreigliedrig, 29 Versorgungsungen viergliedrig, 6 Versorgungsungen fünfgliedrig, 5 Versorgungsungen sechsgliedrig, 2 Versorgungsungen siebengliedrig und 1 Versorgungsungen zehngliedrig sind.

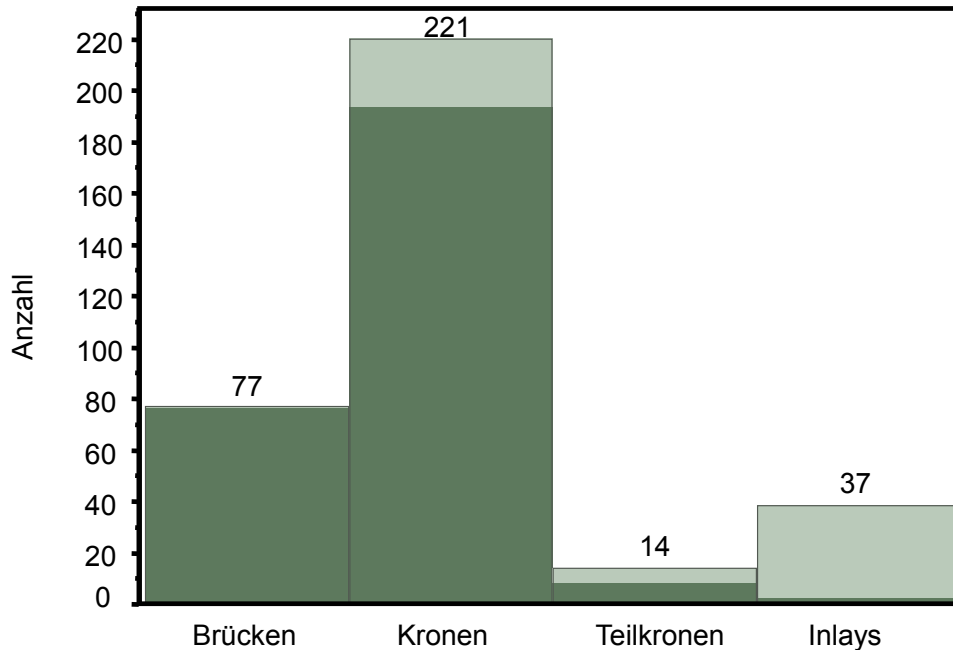


**Abbildung 11** Anzahl der Versorgungsungen bezogen auf die Anzahl der restaurierten bzw. ersetzten Zähne

## Ergebnisse

---

Die 349 Versorgunge kommen durch 77 Brücken, 221 Kronen, 14 Teilkronen und 37 Inlays zustande siehe Abbildung 12.



**Abbildung 12** Verteilung der Versorgunge auf Konstruktionstypen – schattiert dargestellt der Anteil der Versorgunge, welche mit Oxidkeramik hergestellt wurden

Als Material für den eingegliederten Zahnersatz kam zu 80% Oxidkeramik und zu 20% Silikatkeramik zur Anwendung siehe Abbildung 13. Bei den Oxidkeramiken war mit 96 Versorgunge Cercon / Cercon HT (Fa. DeguDent GmbH, Hanau, Deutschland) das meist genutzte Material. Vita In-Ceram YZ (Fa. VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland) wurde bei 66 Versorgunge genutzt, Lava (Fa. 3M Espe GmbH, Seefeld, Deutschland) bei 40 und mit etkon (Fa. Straumann, Freiburg, Deutschland) gefrästes Zirkon bei 38 Versorgunge. Pearl Ceram (Fa. TEAMZIEREIS GmbH, Engelsbrand, Deutschland) bei 16, Organic Zirkon (Fa. R+K CAD/CAM Technologie GmbH & Co. KG, Berlin, Deutschland) bei 15 und IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent) bei 6 und ZirkonZahn (Fa. Zirkonzahn GmbH, Gais, Italien) zwei Mal.

Bei den Silikatkeramiken wurde am häufigsten VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik H. Rauter) mit 39 Versorgunge eingesetzt. Paradigm C (3M Espe)

bei 12, Empress 1 (Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Fürstentum Liechtenstein) bei 9, Cergo press (Fa. DeguDent GmbH, Hanau, Deutschland) bei 5, IPS e.max Press (Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Fürstentum Liechtenstein) bei 4 und Empress 2 (Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Fürstentum Liechtenstein) ein Mal.

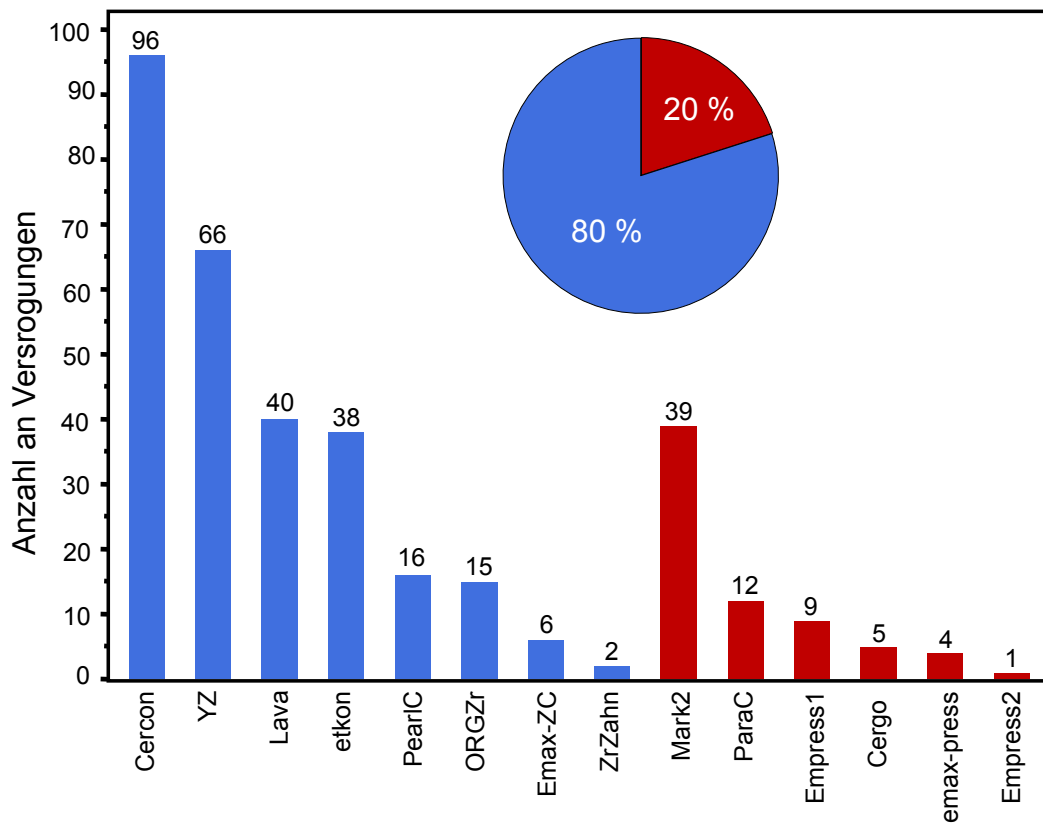
**Tabelle 6 Anteile der Restaurationstypen an den zwei Materialgruppen**

<b>Restaurationstyp</b>	<b>Silikatkeramisch</b>	<b>Oxidkeramisch</b>
<b>Kronen</b>	27	194
<b>Teilkronen</b>	6	8 (Sonderkonstr.)
<b>Brücken</b>	1	76
<b>Inlays</b>	37	0

Die Versorgungen verteilen sich wie in Abbildung 14 gezeigt auf die Kiefer und Kieferregionen. Es befinden sich 69 % im Seitenzahn- und 31 % im Frontzahnbereich.

Bei den Brücken befinden sich 83 % im Seitenzahn Bereich bei den Inlays 97 % (36 von 37) bei den Kronen 61 %. Die mediane Beobachtungszeit im Seitenzahn Gebiet beträgt 36 Monate und im Frontzahngebiet 32 Monate.

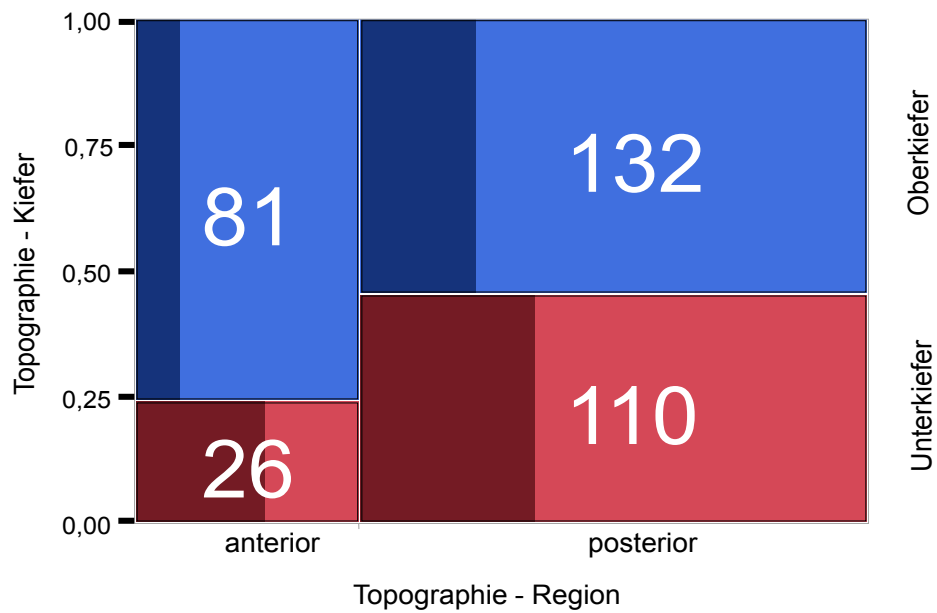
## Ergebnisse



**Abbildung 13** Übersicht über die verwendeten Materialien blau dargestellt sind die Versorgungen auf Basis von Oxidkeramik – rot sind die Versorgungen mit Silikatkeramik dargestellt – insgesamt sind 279 Versorgungen aus Oxidkeramik und 70 Versorgungen aus Silikatkeramik eingesetzt und nachuntersucht worden. Auf der X-Achse sind die jeweiligen Namen der Vollkeramiksysteme aufgetragen. Auf der Y-Achse die Anzahl der Versorgungen.

## Ergebnisse

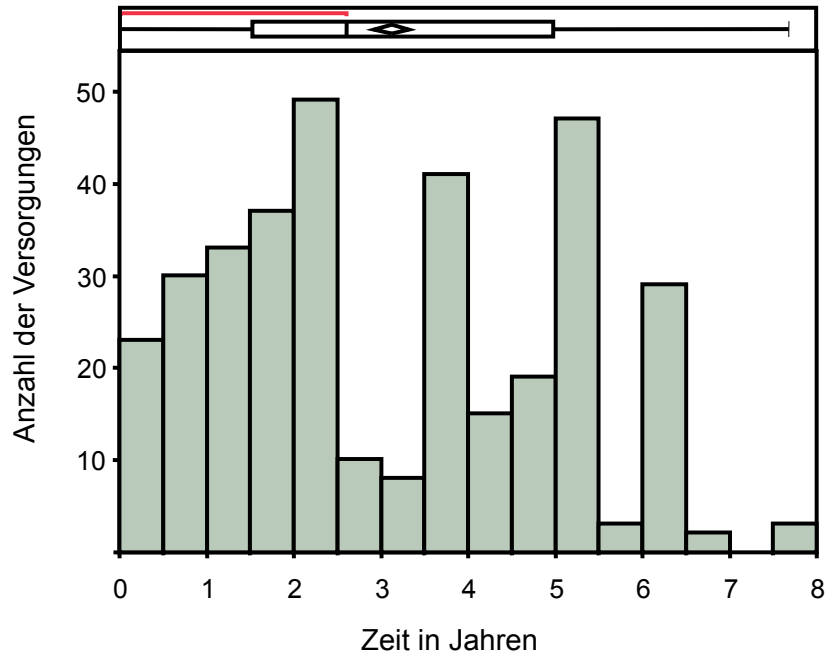
---



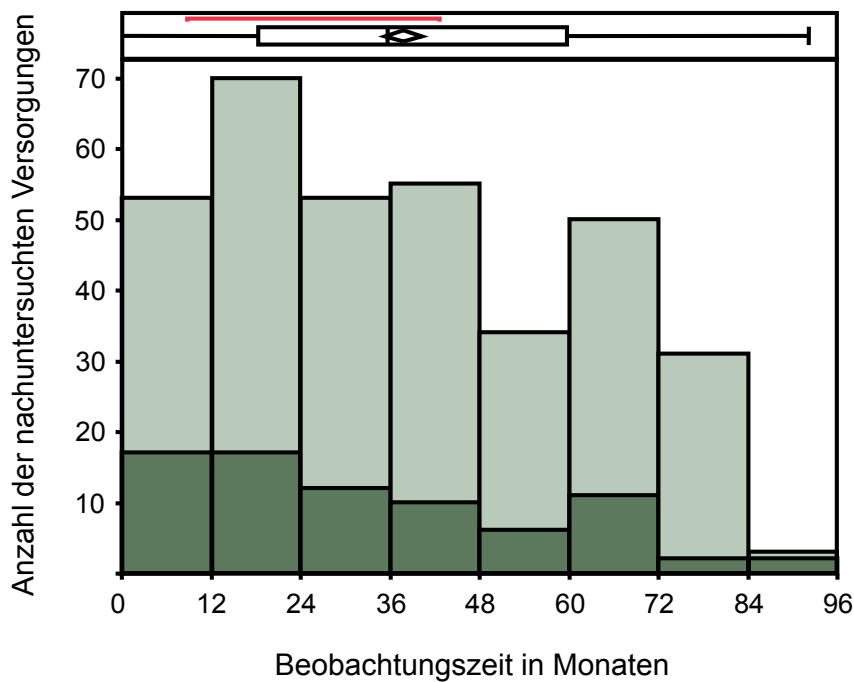
**Abbildung 14:** Darstellung der Verteilung der Restaurationen auf Ober- und Unterkiefer und auf die Regionen anterior bzw. posterior. Schattiert dargestellt sind die Versorgungen der männlichen Patienten

### 3.2 Beobachtungszeit der Restaurationen

In Abbildung 15 ist eine Übersicht der Beobachtungszeiträume dargestellt.

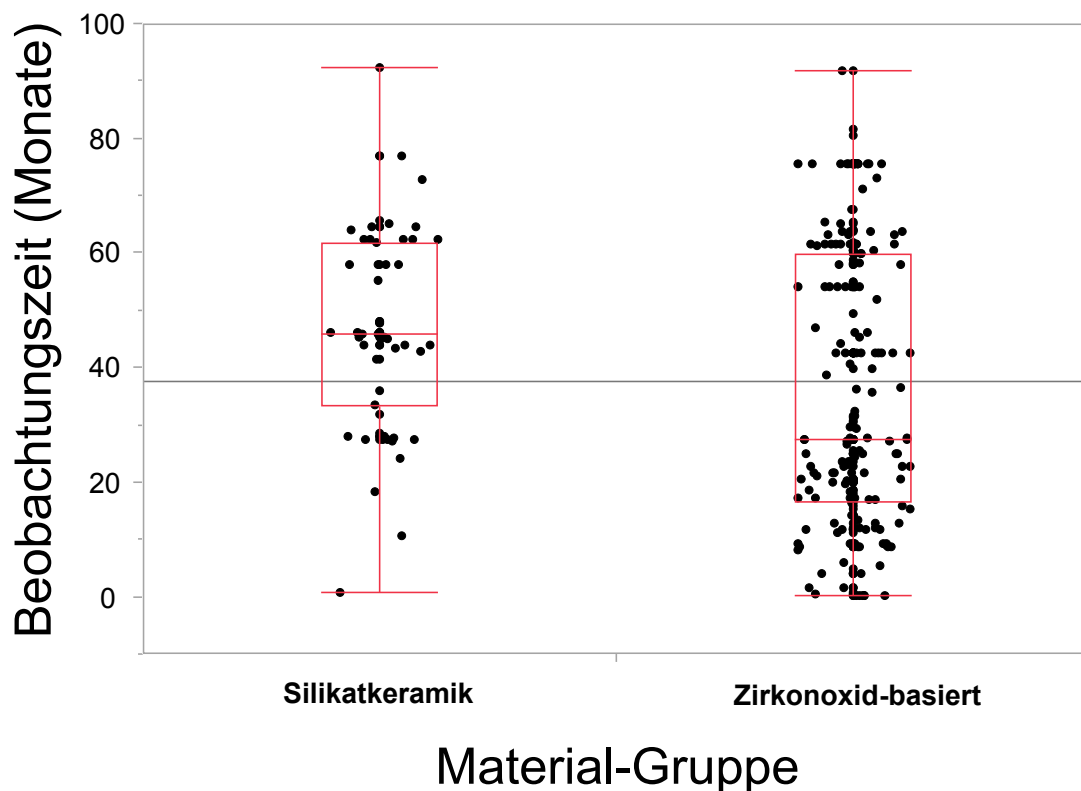


**Abbildung 15:** Übersicht über die Beobachtungszeiträume der 349 Versorgungen jeweils je Halbjahr ein Balken. Der Median liegt wie am oberen Plot erkennbar bei 2,5 Jahren; der Mittelwert bei 3 Jahren Beobachtungszeit



**Abbildung 16:** Anzahl der nachuntersuchten Versorgungen in Abhängigkeit zur Beobachtungszeit. (Dunkelgrün = Brücken Versorgungen) Mediane Beobachtungszeit: 36 Monate; MW: 38 Monate; SD: 23,1; Minium=0,1 & Maximum = 92 Monate

Abbildung 16 stellt die Beobachtungszeit in Bezug zu der Anzahl im Zeitraum nachuntersuchten Versorgungungen dar. Die mediane Beobachtungszeit aller Restaurationen betrug 36 Monate (MW = 38 Monate). Die Beobachtungszeit der Silikatkeramiken war mit 45,8 Monaten (MW = 46,7, SD = 16,9) statistisch signifikant höher als die der Oxidkeramisch-basierten Restaurationen mit 27,5 Monaten (MW = 35,4, SD = 23,9) siehe Abbildung 17.



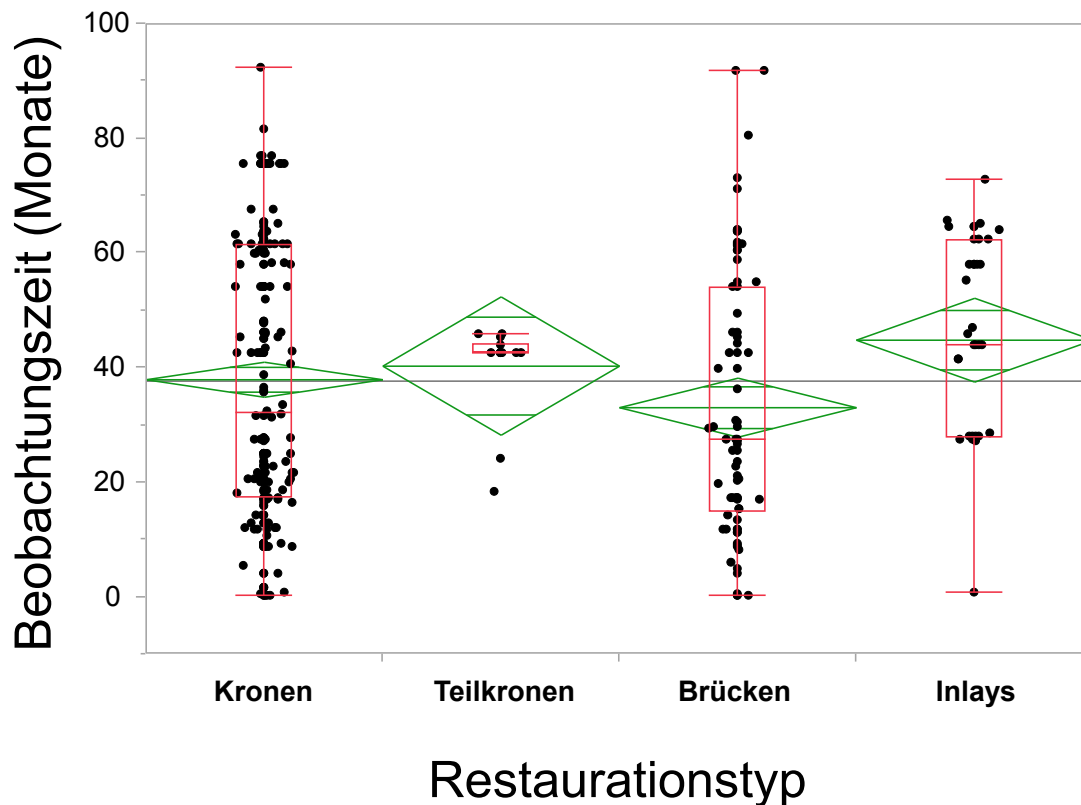
**Abbildung 17** Beobachtungszeit (in Monaten) bezogen auf Silikatkeramik und oxidkeramischen Versorgungungen

Die Beobachtungszeiten der einzelnen Restaurationen finden sich in Tabelle 7. Daraus resultiert auch eine unterschiedliche Beobachtungszeit der verschiedenen Restaurationen: Kronen wurden im Median 32 Monate, Teilkronen 43 Monate, Inlays 44 Monate und Brücken 27,5 Monate beobachtet siehe Abbildung 18.

## Ergebnisse

**Tabelle 7** Beobachtungszeiten der einzelnen Restaurationsmaterialien mit Minimum, Median und Maximum in Monaten. Spalte 2 zeigt die Anzahl der jeweils untersuchten Materialien

Markenname des Restaurationsmaterial	Anzahl	Minimum	Median	Maximum
Cercon	96	0,46	<b>21,6</b>	81,50
Cergo	5	45,99	<b>45,99</b>	45,99
e.max Press	4	31,89	<b>46,55</b>	76,93
e.max ZC	6	11,24	<b>19,85</b>	61,84
Empress1	9	10,48	<b>65,09</b>	76,93
Empress2	1	92,18	<b>92,18</b>	92,18
etkon	38	0,13	<b>9,27</b>	30,73
Lava	40	18,34	<b>42,64</b>	71,24
Mark2	39	27,18	<b>45,79</b>	64,43
ORGZr	15	1,61	<b>11,80</b>	23,47
Paradigm C	12	0,69	<b>27,35</b>	27,87
Pearl Ceram	16	57,89	<b>61,51</b>	61,51
Vita In-Ceram YZ	66	4,76	<b>60,09</b>	91,72
ZirkonZahn	2	39,81	<b>39,81</b>	39,81



**Abbildung 18** Beobachtungszeit (in Monaten) bezogen auf die Versorgungsart (Kronen, Teilkronen, Brücken und Inlays)



### **3.3 Beobachtete Ereignisse an den Restaurationen und deren Klassifikation**

Insgesamt wurde an 80 Konstruktionen mindestens ein Ereignis beobachtet, welches die Qualität oder Integrität der Restauration beeinflusst. Die Prävalenz von Komplikationen jeglicher Art beträgt 23 % (80 von 349) in der vorliegenden Beobachtungszeit. Von diesen 80 wurden zwölf als schwerwiegende Komplikation eingeordnet (15% aller Ereignisse; 3,4% aller Restaurationen).

Betroffen von allen unerwünschten Ereignissen waren 38 Patienten (40%). 61 der betroffenen Restaurationen waren Zirkonoxid-basiert (Prävalenz=21,9%) und 19 silikatkeramisch (Prävalenz = 27%). 59 Restaurationen (74 %) lagen im Seitenzahnbereich, 57 % im Oberkiefer - konkret betroffen waren 45 Kronen, 24 Brücken, 7 Teilkronen und 4 Inlays. 73 Ereignisse (91,3 %) waren technischer Natur. Am häufigsten wurde eine Abplatzung von Keramik beobachtet. Siehe Tabelle 8 und Tabelle 9.

## Ergebnisse

---

**Tabelle 8** Art der unerwünschten Ereignissen (AE) und deren Anzahl. Diese Ereignisse wurden als Komplikationen gewertet, da sie keine Erneuerung der Restauration kurz- oder mittelfristig erfordern. Komplikationen die dem Befestigungsmaterial zugerechnet werden sind mit einem \* gekennzeichnet und werden als „Versagen des Befestigungsmaterial“ gezählt

Was ist passiert	Anzahl	Anteil %
Chip-off	40	55,5
Rissausbreitung	9	12,5
Endodont. Problem	1	1,3
Fraktur der Verblendung	5	6,9
Retentionsverlust *	5	6,9
sondierbarer Rand *	2	2,7
Aufbiss Schmerz	2	2,7
Überempfindlichkeit	1	1,3
Fraktur	7	9,7
Summe	72	100

**Tabelle 9** Art der schwerwiegenden Komplikationen (n=12) und die Anzahl der Beobachtung. Diese Ereignisse werden als „Versagen“ (SAE) der Restauration oder des Zahnes gewertet. Mit \* gekennzeichnete Ereignisse werden auch zum „Versagen des Befestigungsmaterial“ gezählt

Was ist passiert	Anzahl	Anteil %
Fraktur des Zahnes	1	8,3
Fraktur des Gerüsts	7	58,3
Karies am Randspalt *	1	8,3
Dentin am Randspalt freiliegend *	2	16,6
Endodont. Problem (WSR, Trep)	1	8,3
Summe	12	100

Aus den Tabellen zu unerwünschten und schwerwiegenden Komplikationen ergibt sich, dass manche Restaurationen mehrfach betroffen waren.

### **3.3.1 Beobachtet Ereignisse die das Befestigungsmaterial betreffen**

Zehn Konstruktionen zeigten Ereignisse, die auf das Befestigungsmaterial zurückzuführen sind: Im Median traten diese Ereignisse nach 24 Monaten (Mittelwert = 35 Monate) auf.

Konkret wurden

- fünf Retentionsverluste (3x Silikatkeramik)
- zwei sondierbare Ränder ohne offen liegendes Dentin,
- zwei sondierbare Ränder mit offen liegendem Dentin, und
- eine Sekundärkaries beobachtet.

Bei den neun betroffenen Patienten handelt es sich um sechs Frauen und drei Männer sowie um vier Kronen, drei Brücken und drei Inlays. Bei einer Patientin trat mit dem Retentionsverlust ebenso die Fraktur des Zahnersatzes (Empress 1 Krone) auf. Die Prävalenz von unerwünschten Ereignissen in Bezug auf das Befestigungsmaterial beträgt 10 von 349 Restaurationen (2,9 %).

#### *Beobachtete Ereignisse im Einzelnen:*

Bei der Patientin mit dem Studiencode Cn-021 ist am 9.7.2008 an zwei mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzten Kronen (Cercon / Cercon HT (DeguDent GmbH)) eine sondierbare Randpassung (CDA-Rating C) dokumentiert worden. Die Kronen wurden am 08.11.2006 eingesetzt.

Bei der Patientin mit dem Studiencode Cn-047 wurde am 02.05.2007 eine Krone an Zahn 34 eingesetzt, welche am 07.12.2010 als Fraktur bei unzureichender Randpassung (CDA-Rating C) dokumentiert wurde.

Bei der Patientin mit dem Studiencode Mark2-015 ist an Zahn 26 ein (mo) - Inlay am 19.12.2005 eingesetzt worden, welches am 25.03.2008 einem Retentionsverlust unterlag. Die Kavität wurde temporär mit Ketac Fil (Fa. 3M

Espe GmbH, Seefeld, Deutschland) verschlossen und das Inlay am 07.10.2008 wieder mit Variolink (Ivoclar Vivadent) befestigt.

Bei dem Patienten mit dem Studiencode Cn-029 ist die Brücke mit den Pfeilerzähnen 37 und 34, am 27.07.2007 mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt worden. Diese Brücke erlitt einen Retentionsverlust am 28.01.2008. Danach wurde die Brücke erneut, jedoch nicht wieder mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt. Die Pfeilerzähne waren sehr kurz.

Bei dem Patienten mit dem Studiencode RelyX-204 wurde die Brücke 34,35 mit Anhänger 36 am 23.12.2008 mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt. Diese erlitt am 24.03.2010 einen Retentionsverlust. Zuvor berichtete der Patient von einer Hypersensibilität eines Brückenpfeilers, die allerdings passager war und somit ohne Intervention nicht als „unerwünschtes Ereignis“ eingerechnet wurde. Denn diese könnte auch dem Retentionsverlust zuzurechnen sein.

Bei der Patientin mit dem Studiencode Mark2-025 ist am 14.12.2005 ein Inlay eingesetzt worden. Bei diesem Inlay wurde am 11.04.2011 ein Randspalt festgestellt und daraufhin mit einer kleinen Füllung mit Tetric EvoFlow (Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Fürstentum Liechtenstein) mit SÄT verschlossen.

Bei dem Patienten mit dem Studiencode Mark2-027 wurde ein Inlay an Zahn 27 am 22.12.2005 erstmalig mit Variolink (Ivoclar Vivadent) eingesetzt. Dieses Inlay erlitt einen Retentionsverlust, weshalb es dann am 11.01.2006 mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurde. Am 22.03.2011 wurde wieder ein Retentionsverlust festgestellt. Dies führte zum Versagen der Restauration.

Bei der Patientin mit dem Studiencode Yz-002 wurde am 27.10.2014 eine Brücke mit den Pfeilerzähnen 45 und 48 eingesetzt. Am 11.07.2011 wurde an Zahn 48 ein Randspalt festgestellt, an dem sich bereits Karies gebildet hatte.

Bei der Patientin mit dem Studiencode E1-116 wurde am 10.10.2005 eine Krone an Zahn 22 eingesetzt. Diese erlitt am 25.08.2006 einen Retentionsverlust und wurde neu angefertigt. Dies führte also zum Versagen der Restauration.

### **3.3.2 Weitere beobachtete Ereignisse an den Restaurationen**

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Komplikationen, die in Zusammenhang mit dem Befestigungsmaterial stehen, wurden an den Restaurationen weitere Beobachtungen dokumentiert (s. Tabelle 10).

Insgesamt sind 65 weitere unerwünschte Ereignisse dokumentiert.

Chip offs stellen mit 40 Fällen die größte Zahl dar.

Des Weiteren sind 9 Rissformationen in der Keramik (sog. Crack formations) festgestellt worden und bei 12 Versorgungen ist eine Fraktur der Verblendung (Rating T) aufgetreten. Zwei Versorgungen führten dazu, dass die Patienten einen Aufbisschmerz angaben. Eine Versorgung ergab ein endodontisches Problem und bei einer Versorgung wurde vom Patienten passager eine Überempfindlichkeit des Zahnes angegeben.

## Ergebnisse

**Tabelle 10** Übersicht der Komplikationen und deren Zuordnung zu Restaurationen und Materialgruppe – Beobachtungen, die dem Befestigungsmaterial zuzuordnen sind wurden dick gedruckt

	Materialgruppe					
	Silikatkeramik			Oxidkeramik		
	Kronen (n=27)	Teilkronen (n=6)	Inlays (n=37)	Kronen (n=194)	Teilkronen (n=8)	Brücken (n=76)
<b>AE – Ereignisse die zu Interventionen führten (n=72)</b>						
Chip off	2	1	0	19	4	14
Rissausbreitung	8	0	0	0	0	1
Endo-Problem	0	0	0	1	0	0
Verblendfraktur	2	0	0	5	2	3
<b>Retentionsverlust</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Randpassung (T)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Aufbisschmerz	0	0	0	2	0	0
<b>Hypersensitivität (passager)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>SAE – Ereignisse die zum Versagen führten</b>						
Fraktur des/r Pfeiler	0	0	0	0	0	1
Fraktur d. Gerüsts	1	0	1	3	0	1
<b>Karies am Rand</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>Ranpassung (V)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Endodont.Problem	0	0	0	1	0	0
<b>Gesamtprävalenz</b>	<b>55%</b>	<b>16%</b>	<b>11%</b>	<b>16%</b>	<b>75%</b>	<b>32%</b>

Bei 11 Versorgungen wurde ein SAE dokumentiert – also das Versagen des Zahnersatzes / der Restauration festgestellt. Davon sind acht Ereignisse nicht dem Befestigungsmaterial zuzuordnen.

Mit sechs Versorgungen trat am häufigsten das Problem der „Fraktur des Gerüsts“ auf.

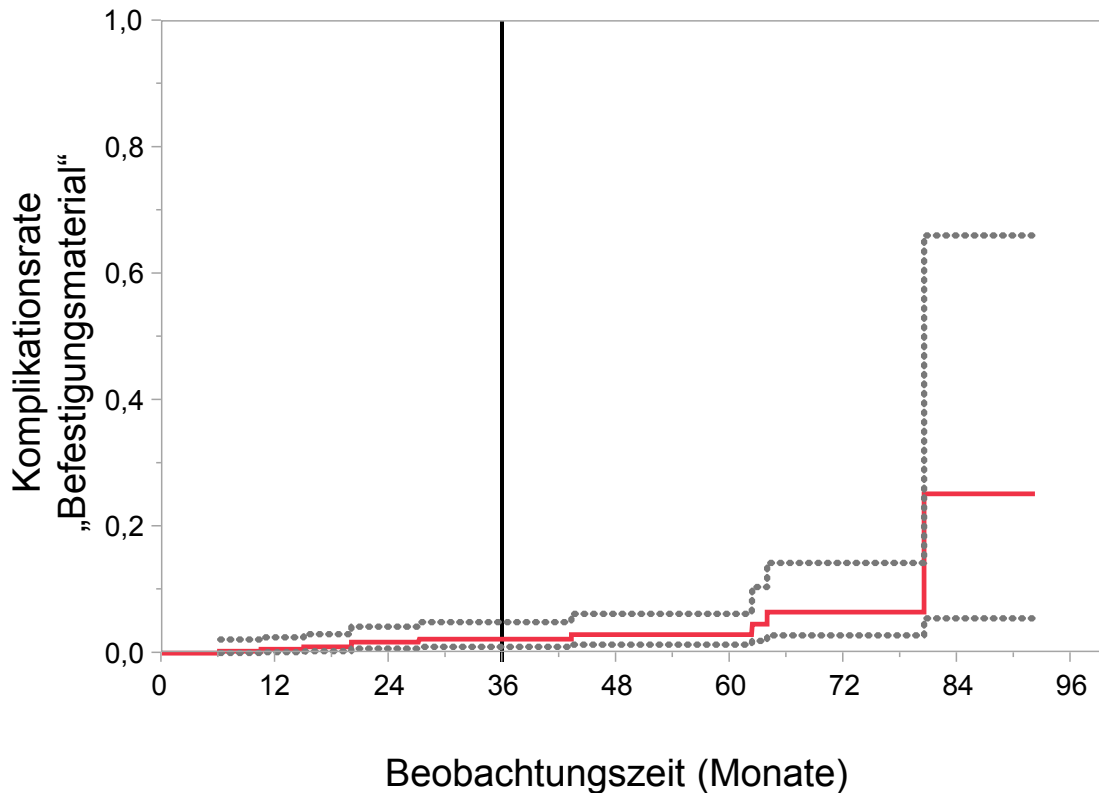
Bei dem Patienten mit dem Studiencode Lava-007 wurde am 10.04.2006 ein Kronenblock mit den Pfeilerzähnen 23 und 24 mit Anhänger 25 eingesetzt. Diese Pfeilerzähne frakturierten am 01.12.2008 knapp über Gingivarand.

Zusätzlich führte ein endodontisches Problem zum Versagen des Zahnersatzes.

### 3.4 Erfolgs-, Komplikations- und Überlebenszeitanalyse der Restaurationen

#### 3.4.1 Komplikationsrate für Ereignisse die mit dem Befestigungsmaterial assoziiert sind

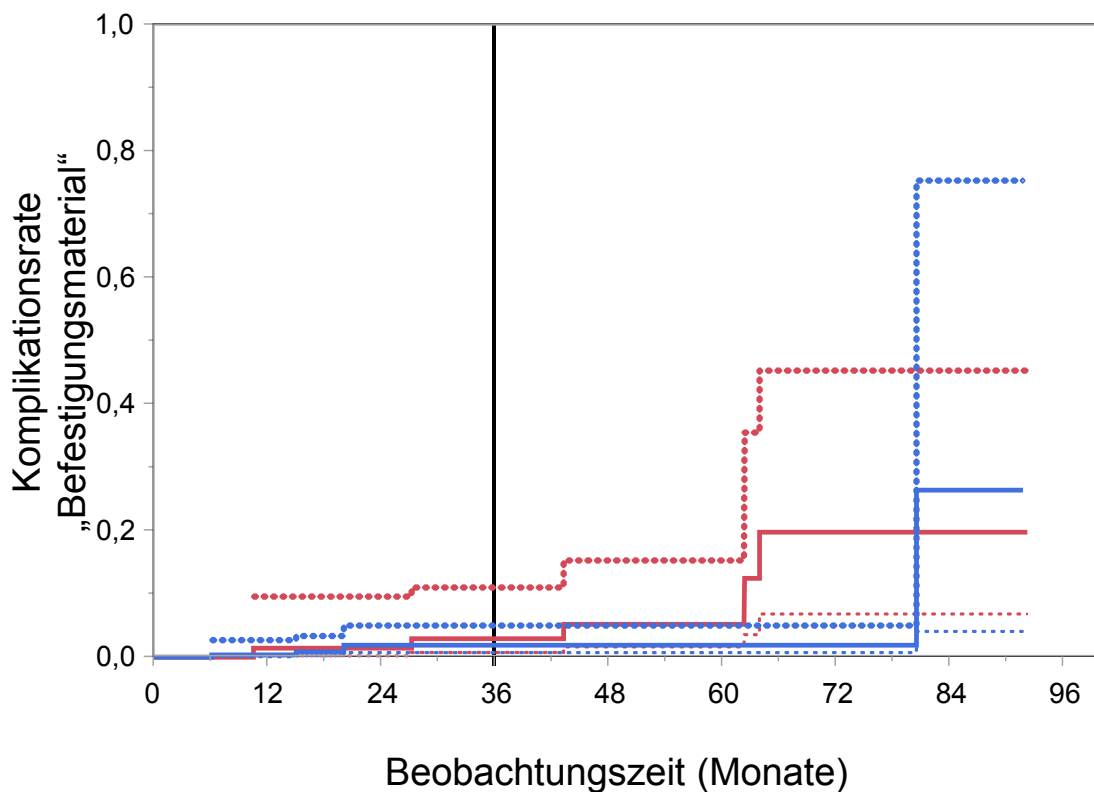
In zeitlicher Betrachtung der eintretenden Ereignisse welche auf das Befestigungsmaterial zurückzuführen sind, wird auf 36 Monate eine Komplikationsrate von 2,2% bei 168 Konstruktionen unter Risiko geschätzt. (Konfidenzintervall 95%CI = 0,01-0,05). Nach 60 Monaten beträgt die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Befestigungsmaterial-assoziierten Komplikation schätzungsweise 2,9%; und nach 72 Monaten 6,5 %. (Konfidenzintervalle: 0,01-0,06 sowie 0,03-0,14).



**Abbildung 19** Kaplan-Meier– Schätzer aller 349 Restaurationen mit Zensierung „Versagens des Befestigungsmaterials“ (SAE Zement). Zum Zeitpunkt 36 Monate beträgt die Schätzung der Versagensfreiheit des Befestigungsmaterials RelyX Unicem (3M Espe) 97,8% bzw. ca. 2 von 100 Restaurationen sind von einer Komplikation durch das Befestigungsmaterial betroffen

*Differenzierung nach oxidkeramischer- und silikatkeramischer Basis*

In Abhängigkeit des verwendeten Restaurationsmaterials beträgt nach 36 Monaten die Komplikationsrate 2,9% für Silikatkeramik (47 von 70 unter Risiko) für Oxidkeramik 1,9 % (122 von 279 unter Risiko). Nach 60 Monaten beträgt die Schätzung für Silikatkeramik 5,2% (23 von 70 unter Risiko) für Oxidkeramik weiter 1,9% (66 von 279 unter Risiko). Die Konfidenzintervalle betragen bei 36 Monaten 0,01-0,11(Silikatkeramik); sowie 0,01-0,05 (Oxidkeramik).



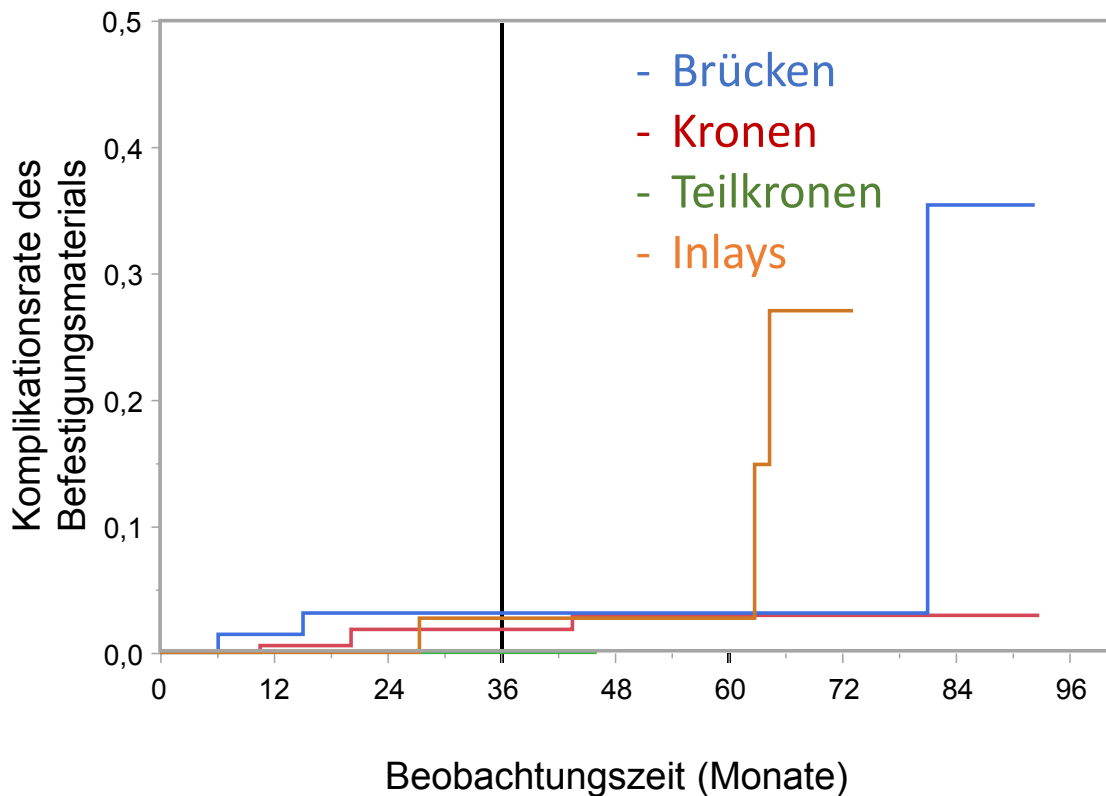
**Abbildung 20** Kaplan-Meier– Schätzer aller silikatkeramischer (rot) und oxidkeramisch-basierter (blau) Restaurationen mit Zensierung „Versagens des Befestigungsmaterials“ (SAE Zement). Zum Zeitpunkt 36 Monate beträgt die Schätzung der Versagensfreiheit des Befestigungsmaterials RelyX Unicem (3M Espe) 97,8% bzw. ca. 2 von 100 Restaurationen sind von einer Komplikation durch das Befestigungsmaterial betroffen



## Differenzierung nach Restaurationstyp:

Da sich in der Gesamtkohorte vier Konstruktionen mit verblockten Kronen sowie 76 oxidkeramische Brücken befinden, erfolgt im Weiteren eine Betrachtung der Brücken getrennt von Einzelzahnrestaurationen.

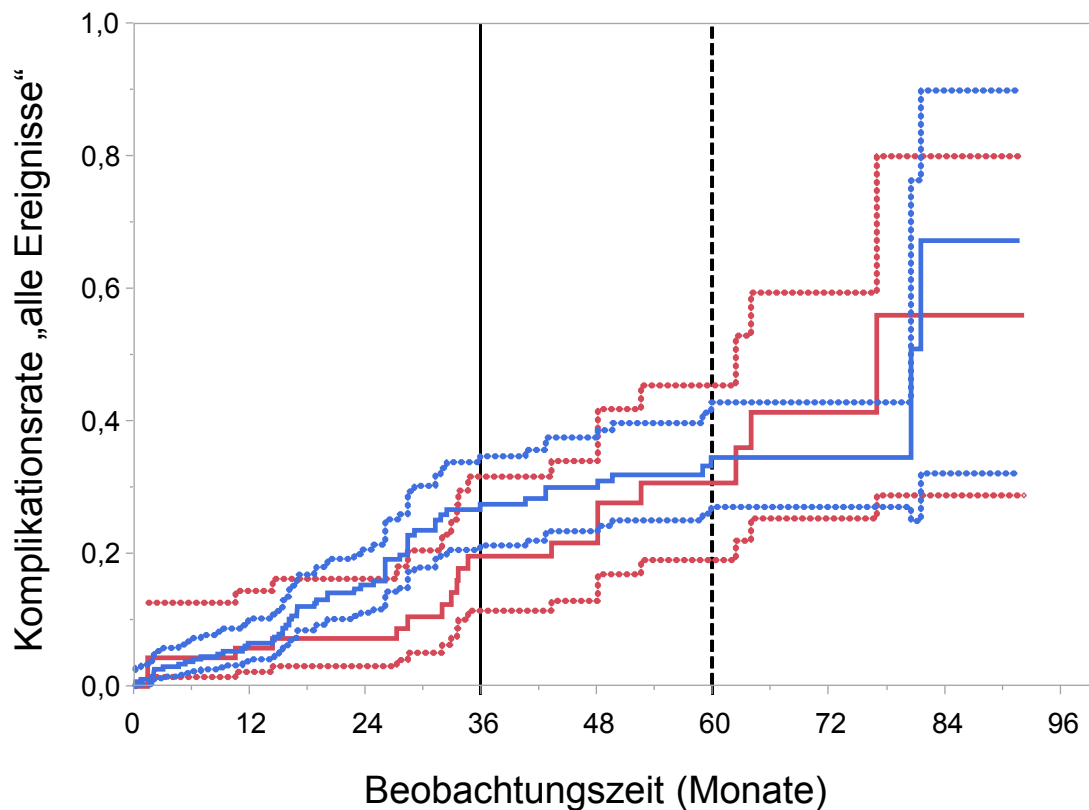
Bei den oxidkeramisch-basierten Brücken wurde eine Komplikationsrate des Befestigungsmaterials von 3,1% bei 30 von 76 Konstruktionen unter Risiko auf 36 Monate geschätzt. Bei den Kronen betrug diese Komplikationsrate auf 36 Monate 1,8% (102 von 220 unter Risiko) - bei Teilkronen 0% und bei Inlays 2,8% (24 von 38 unter Risiko). Siehe Abbildung 21.



**Abbildung 21** Komplikation des Befestigungsmaterials getrennt nach Restaurationstyp

### 3.4.2 Komplikationsraten der Restaurationen unter Berücksichtigung aller unerwünschter Ereignisse

Die Komplikationsrate in der gesamten Kohorte (s. Abbildung 22) beträgt auf 36 Monate für Silikatkeramik 19,7 % (CI = 0,11-0,32) für Oxidkeramik 27,5 % (CI = 0,21-0,35).



**Abbildung 22** Komplikationsrate aller Konstruktionen in der Gesamtkohorte getrennt nach Restaurationsmaterial: Silikatkeramik (rot) und Oxidkeramik (blau). Die Grenzen der jeweiligen 95% Konfidenzintervalle sind gepunktet dargestellt

Die Komplikationsrate aller Einzelzahnrestauration aus Silikatkeramik wurde auf 36 Monate mit 20 % (CI = 0,12-0,32) bei 43 von 69 Konstruktionen geschätzt.

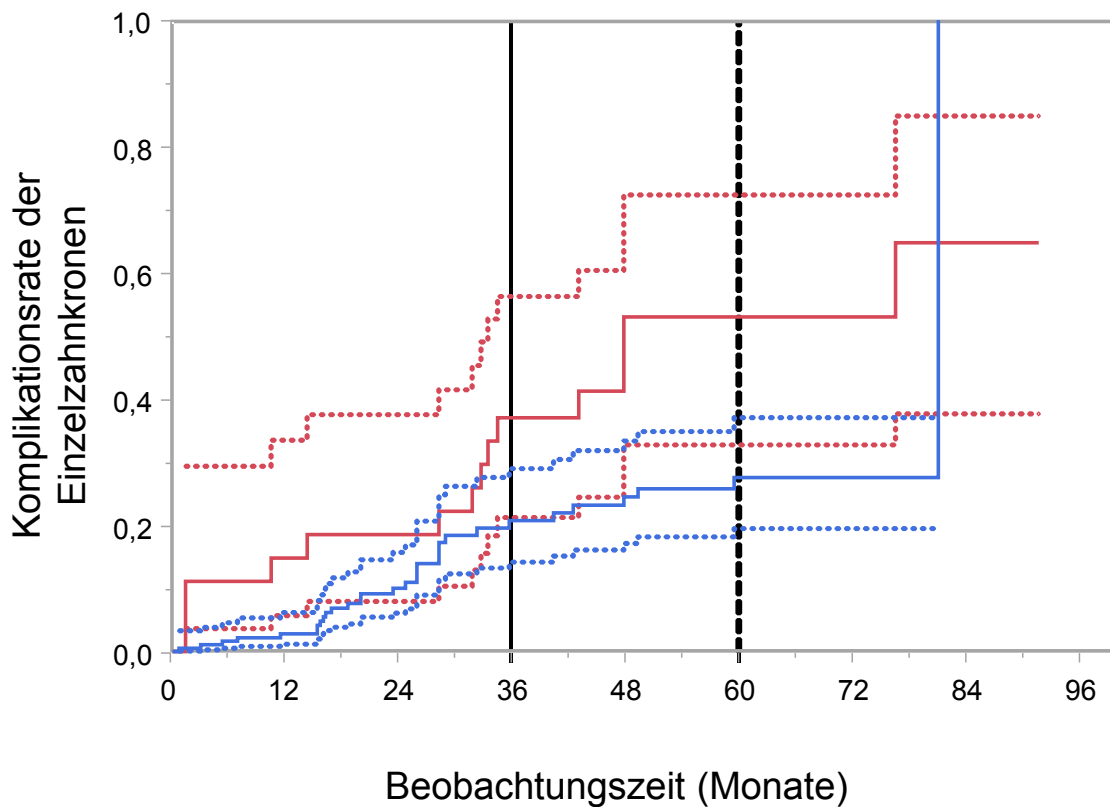
Für die Einzelzahnkronen aus Silikatkeramik wird in diesem Zeitraum eine Komplikationsrate von 37% (CI = 0,21-0,56) geschätzt.

Betrachtet man nur die Kronenversorgungen, so erreichen oxidkeramisch-basierte Kronen eine Komplikationsrate von 20,7% (CI = 0,14-0,29) bei 67 von 194 Konstruktionen unter Risiko. (s. Abbildung 23).

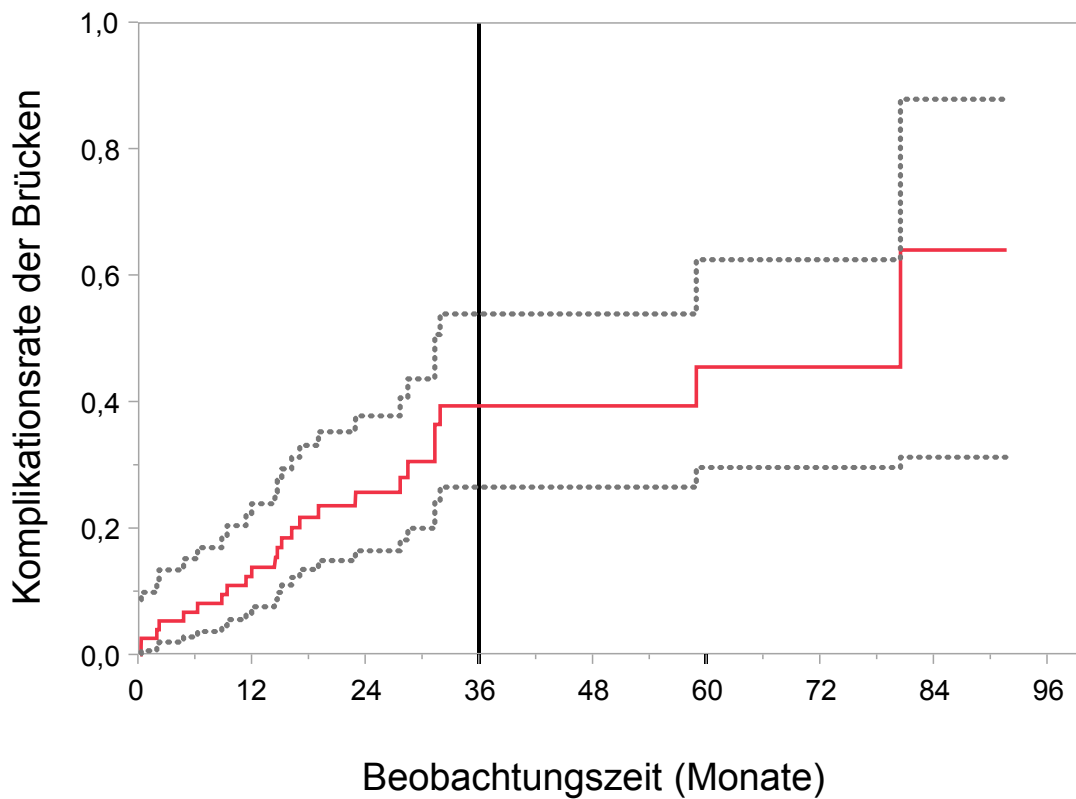
## Ergebnisse

Auf 60 Monate wurde eine Komplikationsrate für silikatkeramische Kronen von 53% (CI = 0,33-0,72) mit 8 von 27 unter Risiko; sowie 27,6% bei oxidkeramisch-basierten Kronen (CI = 0,19-0,37) mit 42 von 194 unter Risiko.

Die Komplikationsrate der Brücken lag auf 36 Monate bei 39,8 % (CI = 0,27-0,54) mit 20 von 77 Konstruktionen unter Risiko (s. Abbildung 24).



**Abbildung 23** Komplikationsrate der Einzelzahnkronen - geteilt nach Materialgruppe Silikatkeramik (rot) und Zirkonoxid (blau). Die Grenzen der jeweiligen 95% Konfidenzintervalle sind gepunktet dargestellt



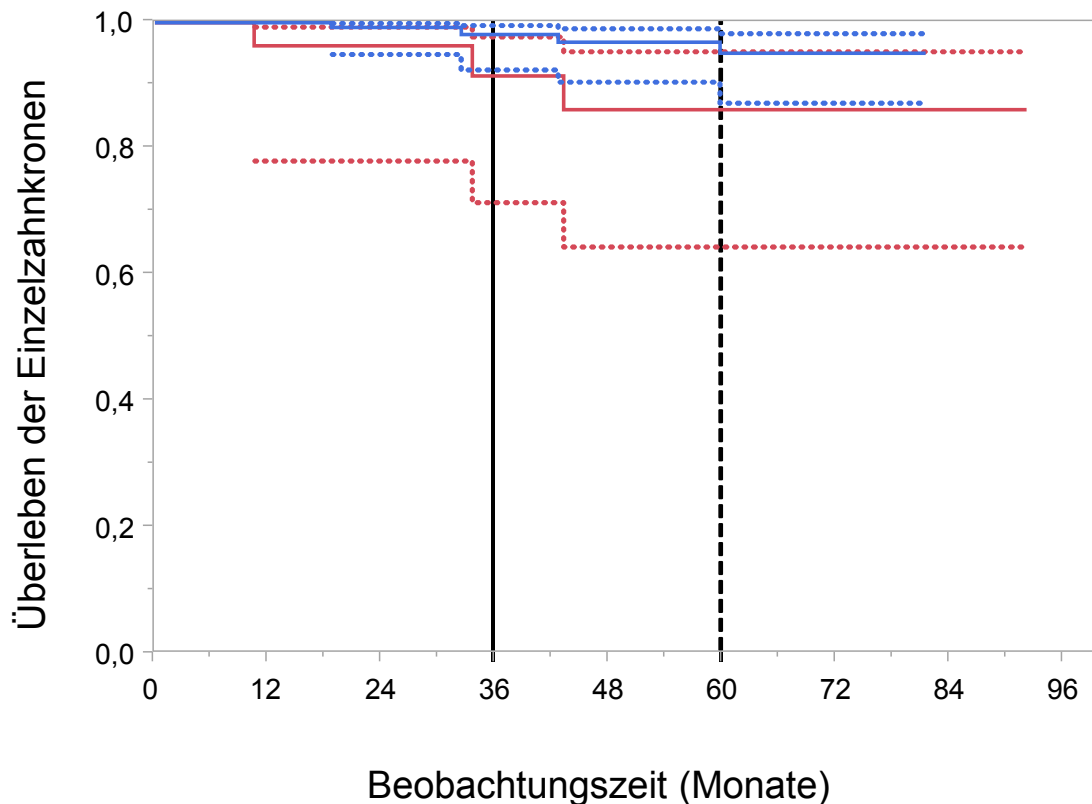
**Abbildung 24** Komplikationsrate der oxidkeramischen Brücken. Die Grenzen des 95% Konfidenzintervalls sind gepunktet dargestellt

Für silikatkeramische Inlays errechnet sich eine Komplikationsrate von 2,8% (CI=0.0-0.17) auf 36 Monate bei 23 von 37 Inlays unter Risiko.

### 3.4.3 Überlebenszeitschätzung für die eingegliederten Restaurationen

Durch schwerwiegende Ereignisse (Versagen, Verlust) sind geschätzt noch 96,4% (CI = 0,99-0,87) der silikatkeramischen Restaurationen (46 unter Risiko) binnen 36 Monaten in situ. Es überleben im selben Zeitraum 98,2% der Oxidkeramisch-basierten Kronen (CI = 0,99-0,93) bei 89 von 199 Kronen unter Risiko binnen 36 Monaten.

Für die Einzelzahnkronen stellt sich der Unterschied zwischen Silikat- und Oxidkeramischer Materialgruppe wie in Abbildung 25 dar.



**Abbildung 25** Überlebenszeitschätzung für Einzelzahnkronen basierend auf Silikat- (rot) und Oxidkeramik (blau)

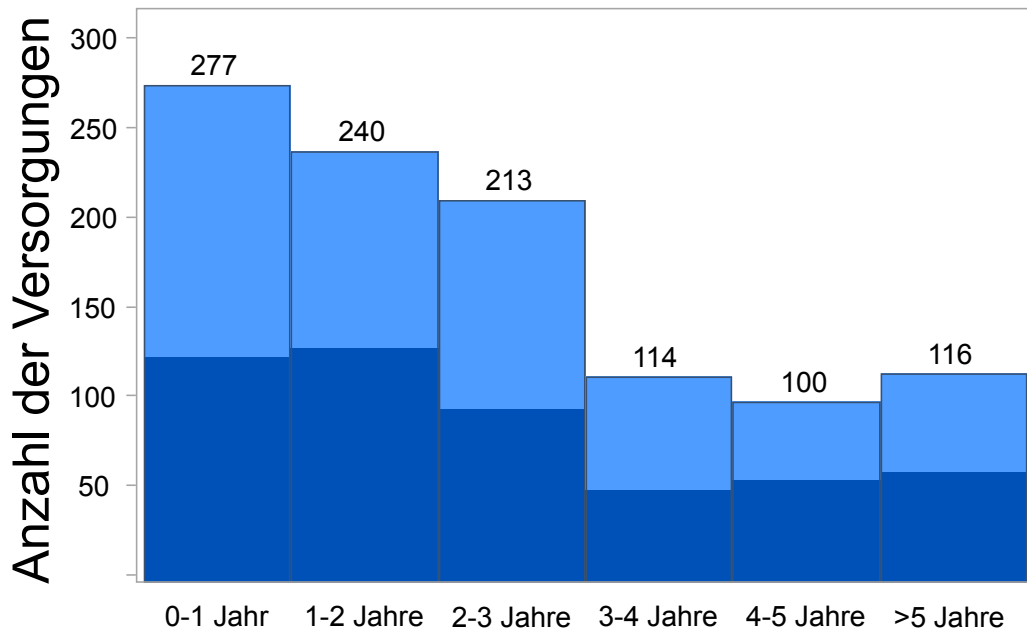
Auf 36 Monate überleben schätzungsweise 91,5% der silikatkeramischen Kronen (CI = 0,71-0,98) und 98% der oxidkeramisch basierten Kronen (CI=0,92-0,995), bei 19 bzw. 83 Kronen unter Risiko.

Für silikatkeramische Inlays liegt das Überleben auf 36 Monate noch bei 100% - jedoch auf 60 Monate beträgt das Überleben schätzungsweise 93,7% (CI=0,66-0,99) bei 14 Inlays unter Risiko.

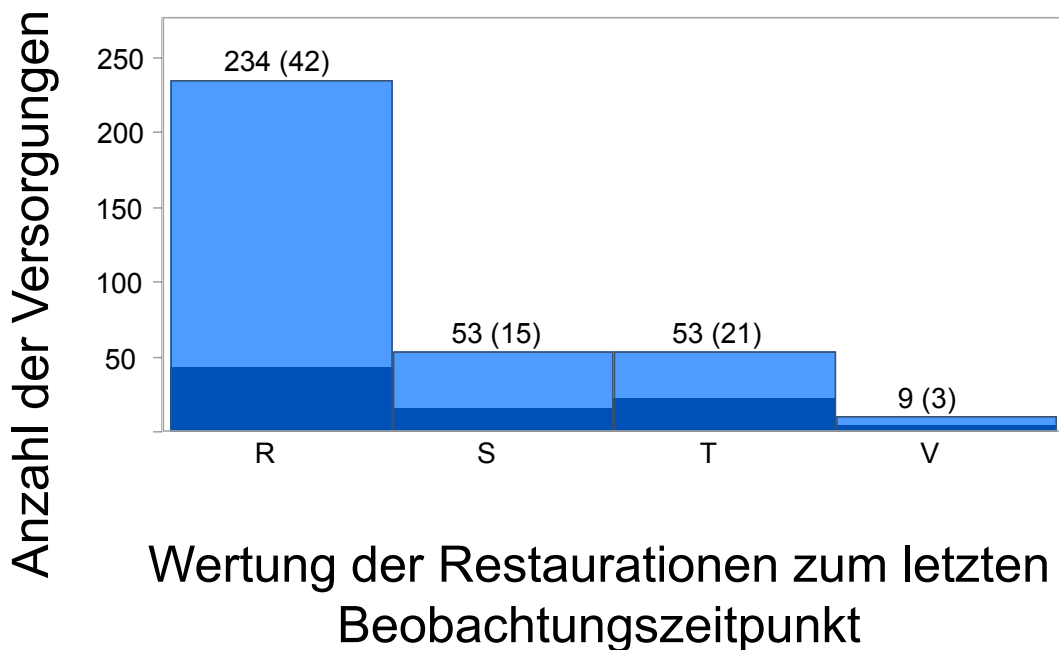
Die schwerwiegenden Ereignisse bei den oxidkeramischen Brücken führen zu einer Überlebensrate von 96,7% (CI = 0,99-0,80) binnen 36 Monaten bei 29 Konstruktionen unter Risiko.

### 3.5 Bewertung der Qualität der Restaurationen

Abbildung 26 zeigt die Verteilung der nachuntersuchten Pfeilerzähne und Kronen in Jahresintervallen. 70 % der Restaurationen wurden über drei Jahre und 30 % mehr als drei Jahre evaluiert.



**Abbildung 26** Nachuntersuchte Pfeilerzähne und Kronen (schattiert) in Jahresintervallen. Die Anzahl der untersuchten Kronen im jeweiligen Jahresabschnitt ist auf dem Balken vermerkt.



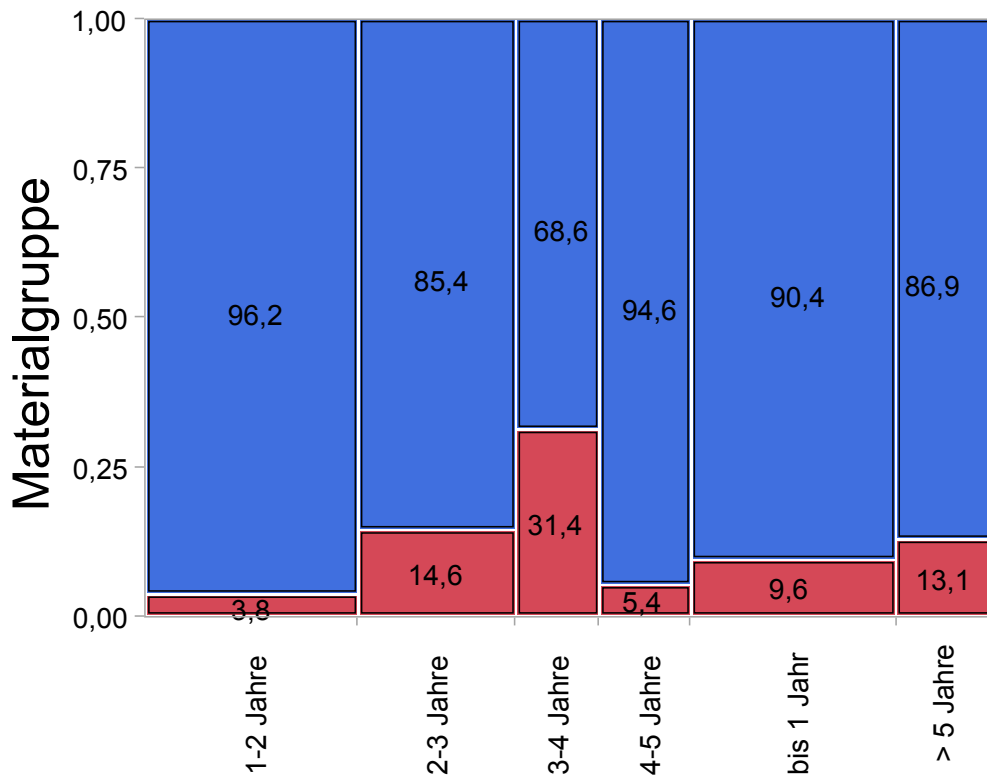
**Abbildung 27** Qualität der Restaurationen zum letzten Beobachtungszeitpunkt (Brücken sind schattiert und in Klammern)

### 3.5.1 Qualität der Kronen

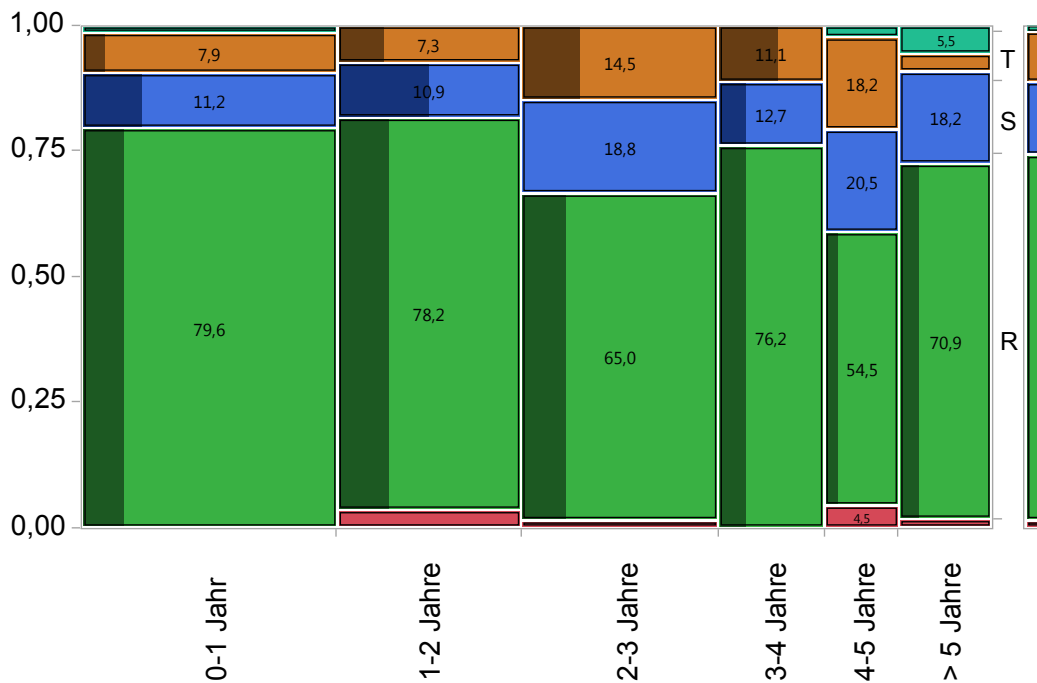
Abbildung 29 zeigt die Verteilung der CDA Ratings der Kronen über die Nachsorgeintervalle. Dabei fällt auf, dass bereits zum frühen Zeitpunkt ca. 7 % der Kronen fragwürdig sind. Dieser Anteil sowie der Anteil der akzeptablen Kronen (Rating S) nimmt ab dem zweiten Jahr zu. Neun Kronen wurden in der gesamten Beobachtungszeit bei einer Nachuntersuchung nicht mit CDA Kriterien evaluiert.

Abbildung 28 zeigt die Verteilung von oxidkeramisch-basierten und silikatkeramisch-basierten Kronen in den Jahresintervallen. Da überwiegend zirkonoxid-basierte Kronen mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden, erfolgt die Betrachtung im Weiteren getrennt nach diesen beiden Materialgruppen.

## Ergebnisse



**Abbildung 28** Anteil der beiden Materialgruppen oxidkeramisch (blau) und silikatkeramisch (rot) an den Einzelkronen in den Nachuntersuchungsintervallen

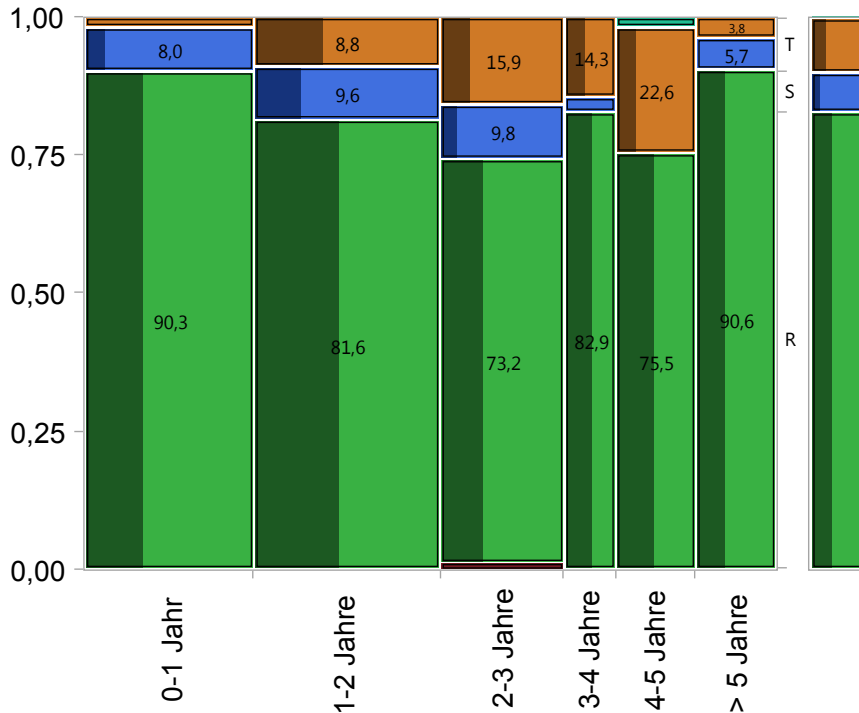


**Abbildung 29** Verteilung der CDA-Ratings der silikatkeramischen Kronen (mit prozentuellem Anteil im Jahresintervall). Schattiert sind die anterior gelegenen Kronen. Grau dargestellt, sind nicht CDA-bewertete Kronen bei Nachuntersuchung



**Qualität oxidkeramisch-basierter Kronen**

Abbildung 30 zeigt die Verteilung der CDA Ratings für die oxidkeramisch-basierten Kronen. Für eine Krone war im Intervall 2-3 Jahre keine Beobachtung vorhanden.



**Abbildung 30** CDA-Ratings der oxidkeramisch-basierten Kronen in den Jahresintervallen der Nachtuntersuchungen (Frontzähne sind schattiert dargestellt).

Folgt man Tabelle 11, sieht man, dass im ersten Jahr eine fragwürdige Randpassung und nach vier Jahren eine insuffiziente Randpassung beobachtet wurde. Der überwiegende Teil zeigte eine einwandfreie Randpassung.

Bei der Randverfärbung wurden 66 von 460 Rändern nicht beurteilt bzw. waren nicht beurteilbar. Randverfärbungen traten vorwiegend in den ersten zwei Jahren (n = 8) auf. Eine Hälfte dieser Randverfärbungen wurde bukkal, die andere Hälfte lingual beobachtet. (s. Tabelle 12)

## Ergebnisse

---

**Tabelle 11** CDA-Rating der Randpassung bei oxidkeramisch-basierten Kronen

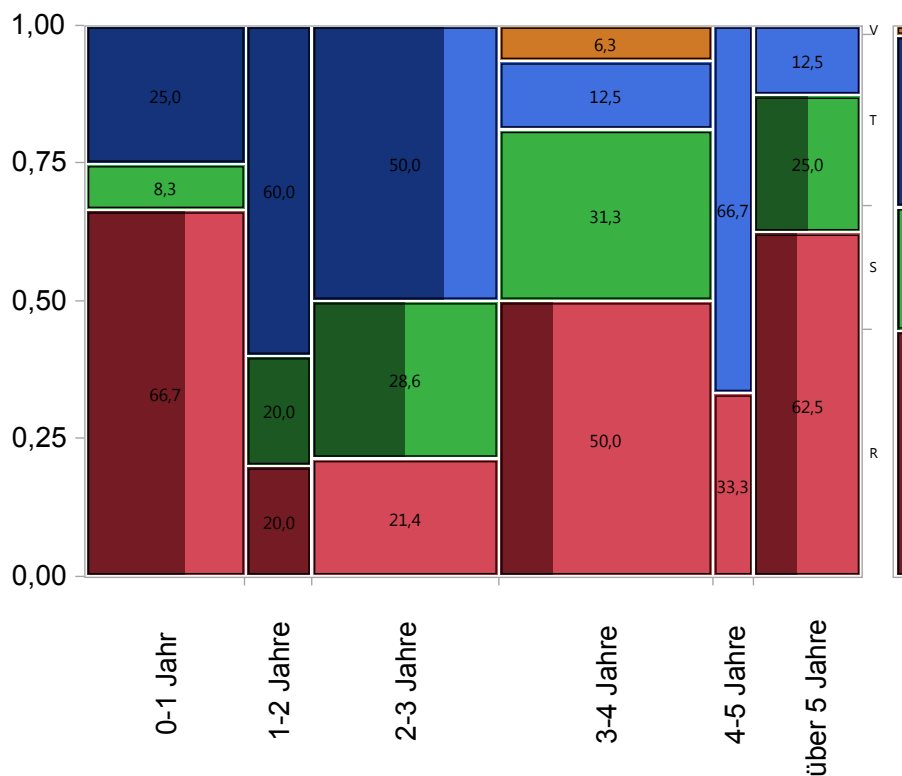
Intervall	Anzahl insgesamt	N	A	B	C	D
0-1 Jahr	113	0	109	3	1	0
1-2 Jahre	125	0	121	4	0	0
2-3 Jahre	82	1	78	3	0	0
3-4 Jahre	35	0	35	0	0	0
4-5 Jahre	53	0	52	0	0	1
> 5 Jahre	53	0	53	0	0	0

**Tabelle 12** CDA-Rating der Randverfärbung bei oxidkeramisch-basierten Kronen

Intervall	Anzahl insgesamt	N	A	B	C
0-1 Jahr	113	13	99	1	0
1-2 Jahre	125	18	100	6	1
2-3 Jahre	82	19	61	2	0
3-4 Jahre	35	8	27	0	0
4-5 Jahre	53	7	46	0	0
> 5 Jahre	53	2	48	3	0

**Qualität silikatkeramischer Kronen**

Abbildung 31 zeigt die CDA Rankings der silikatkeramische Kronen. Dabei fällt auf, dass bereits innerhalb der ersten drei Jahre über ein Drittel der Kronen als fragwürdig (CDA Ranking T) klassifiziert werden. Allerdings sind davon vornehmlich Frontzahnrestaurationen betroffen. Folgt man Tabelle 14 treten fragwürdige Randpassungen nach ca. drei Jahren auf. Eine insuffiziente Randpassung wurde im Intervall 3-4 Jahre beobachtet. Die Randverfärbungen des Ratings B häufen sich ebenfalls im Zeitraum zwischen drei und vier Jahren.



**Abbildung 31** CDA-Rankings der silikatkeramischen Kronen in den Jahresintervallen der Nachtuntersuchungen (Anteriors schattiert, Prozente im Jahresanteil).

**Tabelle 13** CDA-Rating der Randpassung bei silikatkeramischen Kronen

Intervall	Anzahl insgesamt	N(A)	N(B)	N(C)	N(D)
0-1 Jahr	12	10	2	0	0
1-2 Jahre	5	5	0	0	0
2-3 Jahre	14	11	2	1	0
3-4 Jahre	16	11	2	2	1
4-5 Jahre	3	2	1	0	0
über 5 Jahre	8	7	0	1	0

**Tabelle 14** CDA-Rating der Randverfärbung bei silikatkeramischer Kronen

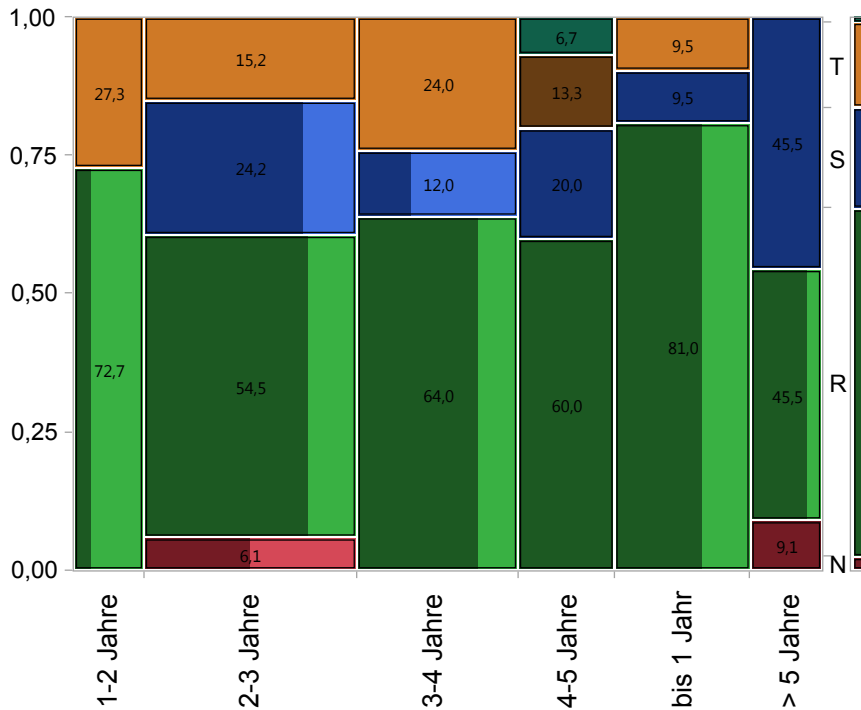
Intervall	Anzahl insgesamt	N(n)	N(A)	N(B)
0-1 Jahr	12	0	12	0
1-2 Jahre	5	0	4	1
2-3 Jahre	14	1	9	4
3-4 Jahre	16	1	11	4
4-5 Jahre	3	0	2	1
über 5 Jahre	8	0	7	1

### 3.5.2 Qualität anderer silikatkeramischer Restaurationen

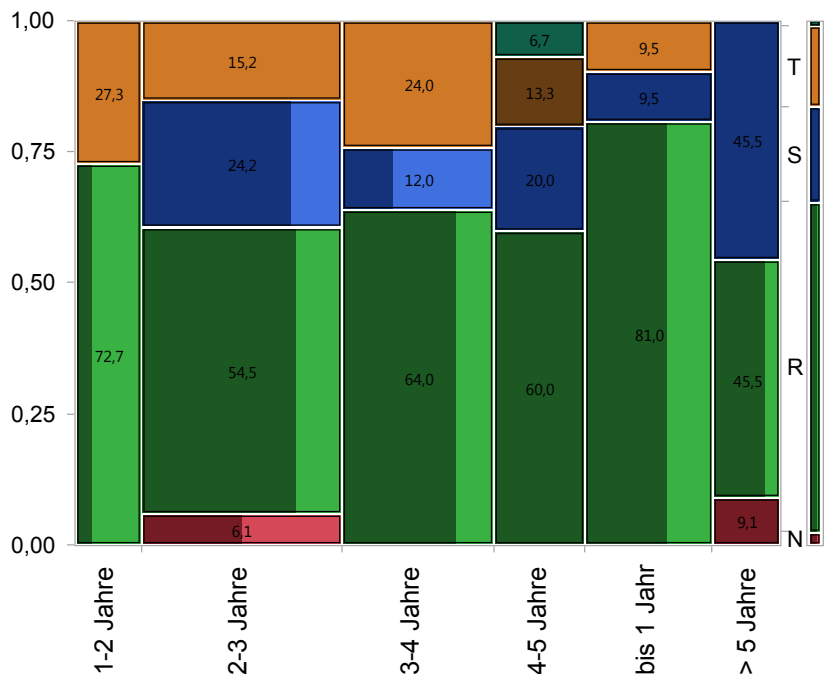
16 Patienten trugen 52 Konstruktionen die weder Kronen noch Brückenpfeilern zuzuordnen waren. Es handelte es sich um 13 Teilkronen und 37 Inlays vornehmlich im Seitenzahngebiet (45 von 52).

Die Qualität dieser Restaurationen über die Nachsorgeintervalle hinweg zeigt Abbildung 32.

## Ergebnisse



**Abbildung 32** Verteilung der CDA-Rankings der anderen (mit prozentualen Anteil im jeweiligen Jahresintervall). Schattiert sind Inlays. Grau (derzeit rot) dargestellt, sind nicht CDA-bewerteten Einheiten bei Nachuntersuchung.



**Abbildung 33** Verteilung der CDA-Rankings der anderen Restaurationen (mit prozentualen Anteil im Jahresintervall). Schattiert sind Inlays. Rot dargestellt, sind nicht CDA-bewerteten Einheiten bei Nachuntersuchung.

## Ergebnisse

---

In den Tabelle 15 und Tabelle 16 sind, für Teilkronen und Inlay getrennt, die Ratings für Randpassung und Randverfärbung aufgeführt. Bei keiner dieser Restaurationen wurde eine Karies beobachtet.

**Tabelle 15** CDA-Rating der Randpassung bei anderer Restaurationen

Restauration	Intervall	N Rows	N(n)	N(A)	N(B)	N(C)
<b>Teilkronen</b>	0-1 Jahr	8	0	8	0	0
	1-2 Jahre	8	0	8	0	0
	2-3 Jahre	11	0	10	1	0
	3-4 Jahre	12	0	10	2	0
	> 5 Jahre	1	0	1	0	0
<b>veneer</b>	1-2 Jahre	1	0	1	0	0
<b>Inlays</b>	bis 1 Jahr	13	0	13	0	0
	1-2 Jahre	2	0	2	0	0
	2-3 Jahre	21	1	19	1	0
	3-4 Jahre	13	0	12	1	0
	4-5 Jahre	15	0	13	1	1
	> 5 Jahre	10	1	5	4	0

**Tabelle 16** CDA-Rating der Randverfärbung bei anderer Restaurationen

Restauration	Intervall	unters. Pfeiler	N(Missing)	N(A)	N(B)	N(C)
<b>Teilkronen</b>	bis 1 Jahr	8	0	8	0	0
	1-2 Jahre	8	0	8	0	0
	2-3 Jahre	11	2	9	1	0
	3-4 Jahre	12	0	12	0	0
	> 5 Jahre	1	0	1	0	0
<b>Veneer</b>	1-2 Jahre	1	0	1	0	0
<b>Inlays</b>	0-1 Jahr	13	0	11	2	0
	1-2 Jahre	2	0	2	0	0
	2-3 Jahre	21	1	15	5	0
	3-4 Jahre	13	0	12	1	0
	4-5 Jahre	15	0	10	4	1
	> 5 Jahre	10	1	7	2	0

### 3.5.3 Qualität der Brückenpfeiler

Tabelle 17 zeigt die über die Zeitintervalle erhobene Randqualität.

Das Kriterium „Karies“ wurde nie beobachtet. Das Kriterium „Randverfärbung“ ist dargestellt in Tabelle 18. Für 19 der 27 beobachteten Randverfärbung (CDA Werte B und C) wurde eine Lage angegeben. Der überwiegende Teil befand sich auf der bukkalen Fläche (n = 12).

## Ergebnisse

---

**Tabelle 17** CDA-Rating der Randpassung bei Brückenpfeilern

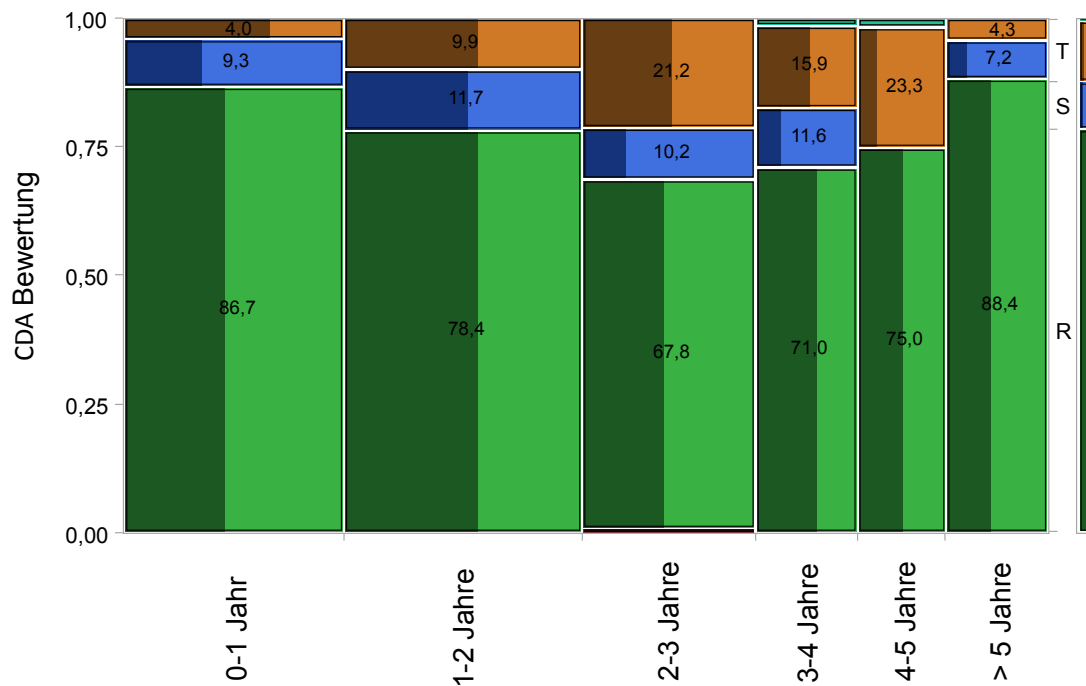
Intervall	Unters. Pfeiler.	N missing	A	B	C	D
0-1 Jahr	150	0	140	9	1	0
1-2 Jahre	162	0	155	7	0	0
2-3 Jahre	118	1	110	5	2	0
3-4 Jahre	69	0	62	4	2	1
4-5 Jahre	60	0	58	1	0	1
> 5 Jahre	69	0	68	0	1	0

**Tabelle 18** CDA-Rating der Randverfärbungen bei Brückenpfeilern im Zeitverlauf

Intervall	Unters. Pfeiler. (n)	N missing	A	B	C
0-1 Jahr	150	13	135	2	0
1-2 Jahre	162	23	129	9	1
2-3 Jahre	118	21	91	6	0
3-4 Jahre	69	11	54	4	0
4-5 Jahre	60	7	52	1	0
> 5 Jahre	69	2	63	4	0



## Ergebnisse



**Abbildung 34** Verteilung der CDA-Rankings der Brückenpfeiler (mit prozentualen Anteil im Jahresintervall). Schattiert sind die anterior gelegenen Pfeiler. Grau dargestellt, sind nicht CDA-bewerteten Einheiten bei Nachuntersuchung.

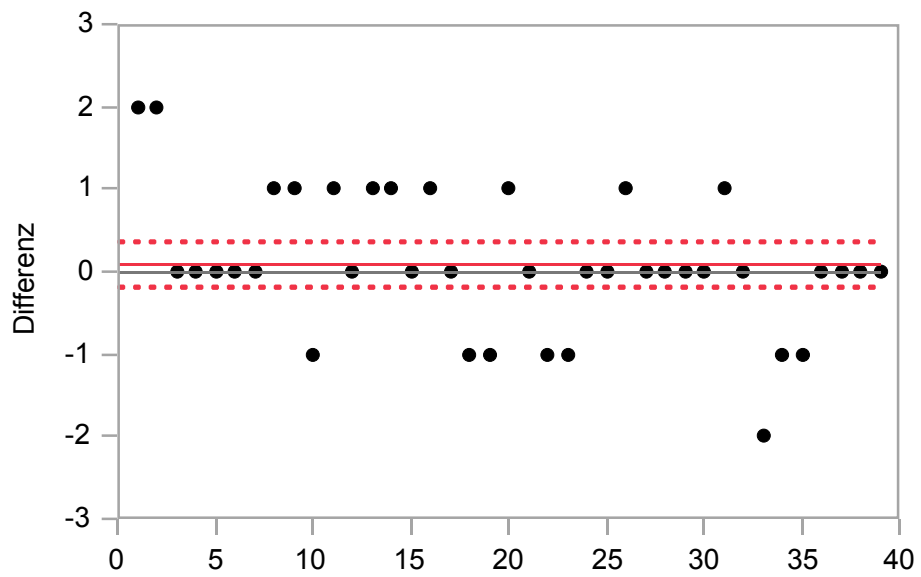
### 3.6 Aspekte der parodontalen Gesundheit

#### 3.6.1 Zähnen welche mit Inlays und Teilkronen versorgt wurden

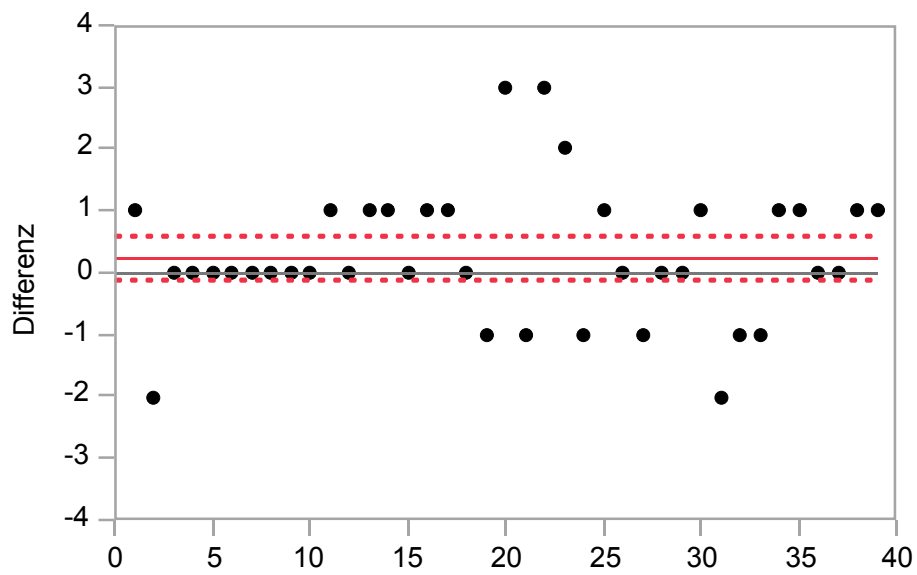
Für 39 von 115 beobachteten Einzelzahnversorgungen mit Teilkronen oder Inlays konnte ein Referenzzahn festgelegt werden. 32 dieser Zähne waren Inlays, 7 Teilkronen (davon ein Veneer). 38 der 39 Restaurationen befanden sich im Seitenzahngebiet.

Wie in den Abbildungen dargestellt beträgt die mittlere Differenz zwischen den Messwerten an Pfeilerzahn und Referenzzahn 0,1 mm (SD = 0,14) mesial und 0,3 mm (SD = 0,18) distal. (s. Abbildung 35 Seite 80; Abbildung 37 Seite 81; Abbildung 36 Seite 80; Abbildung 38 Seite 82).

## Ergebnisse



**Abbildung 35** Differenz der mesialen Sulkussondierungstiefen (y-Achse, in mm) von je 39 Pfeiler- und Referenzzähnen (x-Achse) die mit Inlays und Teilkronen versorgt waren.

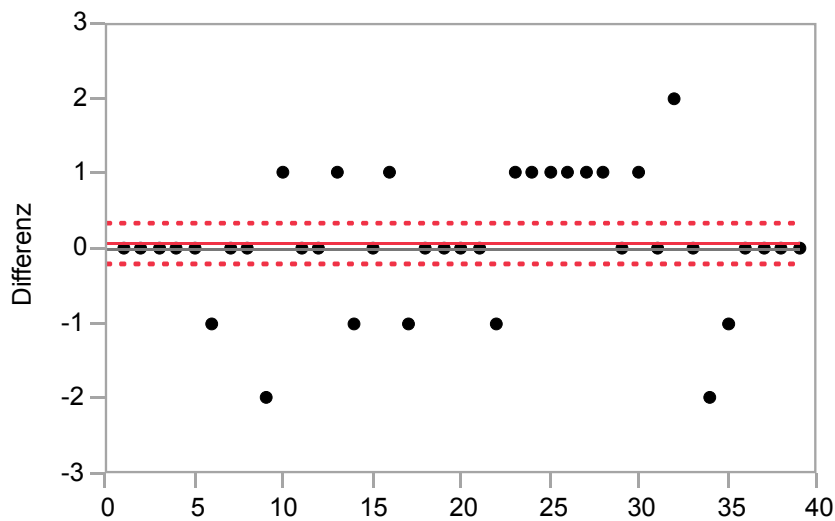


**Abbildung 36** Differenz der distalen Sulkussondierungstiefen (y-Achse, in mm) von je 39 Pfeiler- und Referenzzähnen (x-Achse) die mit Inlays und Teilkronen versorgt waren.

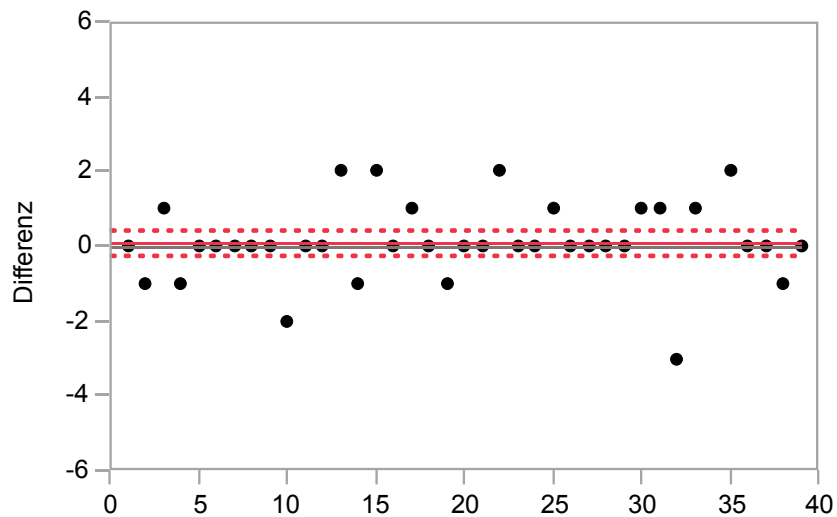
## Ergebnisse

Der mittlere Unterschied beim BoP lag bei 0,08 (SE = 0,1) mesial sowie 0,1 (SE = 0,17) distal. Die Lage des Restaurationsrandes war in 37 von 39 Fällen nicht relevant (okklusaler oder über 2 mm supragingival), ein Restaurationsrand lag para- und ein Restaurationsrand supragingival bis 2 mm.

Die Verteilung der Sulkussondierungstiefen (Median = 3, MW= 3  $SD_{\text{distal}} = 0,88$   $SD_{\text{mesial}} = 0,52$ ) sowie des BOP (Median = 0; Mittelwert = 0,5) an den Pfeilerzähnen ist in Abbildung 39 Seite 83 dargestellt.



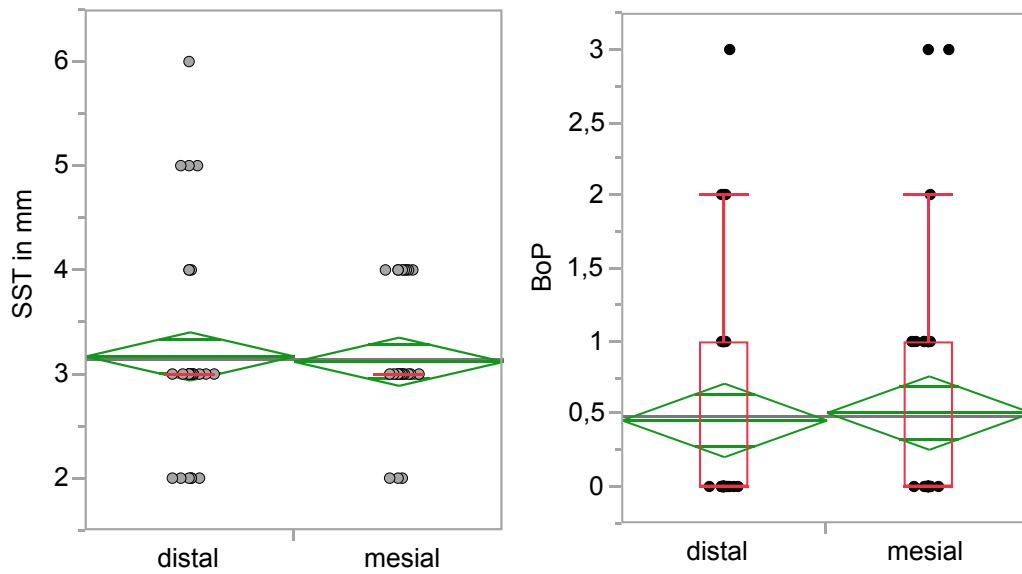
**Abbildung 37** Differenz der mesialen BoP.Messungen (y-Achse) von je 39 gematchten Pfeiler- und Referenzzähnen (x-Achse) bei den Patienten mit Inlays und Teilkronen.



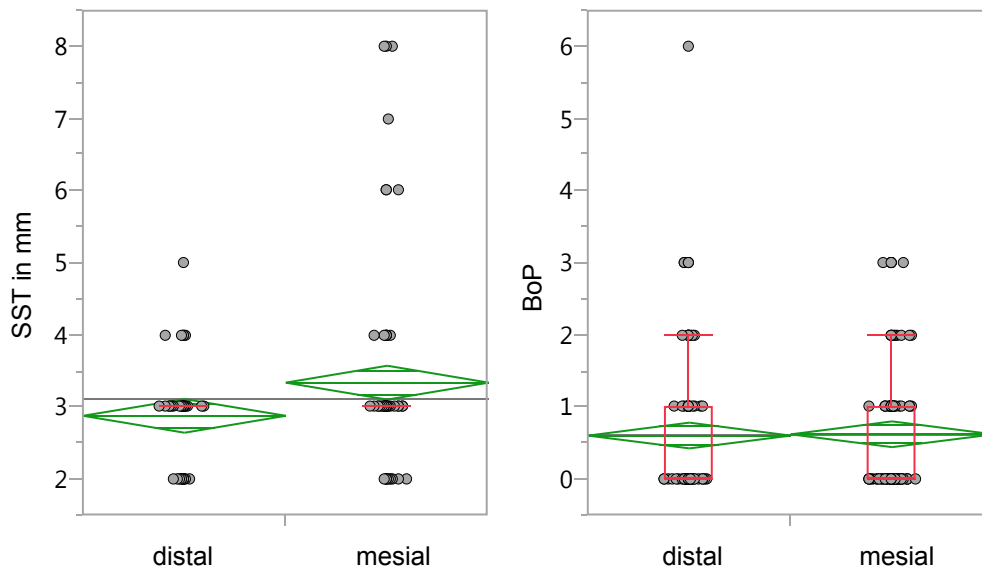
**Abbildung 38** Differenz der distale BoP Messungen (y-Achse) von je 39 gematchten Pfeiler- und Referenzzähnen (x-Achse) bei den Patienten mit Inlays und Teilkronen.

Bei den übrigen 76 Pfeilerzähnen beträgt der Median der Sulkussondierungstiefen 3 mm. Allerdings unterscheiden sich mesiale von distaler Sulkussondierungstiefe statistisch signifikant im Mittelwert: 2,9 (distal) und 3,4 (mesial). Dieser Unterschied wird als klinisch nicht relevant betrachtet. Beim Bleeding on Probing finden sich keine Unterschiede in Median und Mittelwert ( $\text{Median}_{[\text{mesial und distal}]} = 0$ ; MW = 0,6). Siehe Abbildung 40 auf Seite 83.

## Ergebnisse



**Abbildung 39** Verteilung der Sulkussondierungstiefen (links) und BoP (rechts) der 39 Pfeilerzähne mit Inlays und Teilkronen, die einen Referenzzahn hatten hinsichtlich des Unterschiedes zwischen mesialer und distaler Messung.



**Abbildung 40** Verteilung der Sulkussondierungstiefen (links) und BoP (rechts) von den 76 Zähnen mit Inlays und Teilkronen, die keine Referenzzähne hatten hinsichtlich mesialer und distaler Messung. Der statistisch signifikante Unterschied zwischen den mesialen und distalen SST (diff=0.5mm) wird als klinisch nicht relevant angesehen. P10-3

### **3.6.2 Zähne welche mit Kronen versorgt wurden**

Für 116 von 221 beobachteten Kronen konnte ein Referenzzahn festgelegt werden. Über den Beobachtungszeitraum veränderte sich der Mittelwert der mesialen und distalen Sulkussondierungstiefe weder klinisch noch statistisch signifikant (siehe Tabelle 19, Seite 85).

Wie Tabelle 20 zeigt wurden über den Beobachtungszeitraum 194 Kronen und ihre Referenzzähne gemessen. Der Mittelwertunterschied betrug nach Bland & Altman im ersten Jahr 0,02 mm und steigt auf 0,3 mm über fünf Jahre an. Dieser Unterschied wird als nicht klinisch relevant beurteilt. Bei den distalen Sondierungstiefen stellt sich ein ähnliches Bild mit einem Mittelwertunterschied von ca. 0,15 mm während der ersten zwei Jahre bis hin zu -0,3 mm über fünf Jahre dar. Auch beim BoP sind keine klinisch relevanten Abweichungen zwischen Referenz- und Studienzahn über den Beobachtungszeitraum feststellbar. Auffällig ist allerdings, dass (wie durch negatives Vorzeichen sichtbar) die Referenzzähne bei Sulkussondierungstiefen wie auch beim BoP eine Tendenz zu niedrigeren (besseren) Messwerten haben.

Die 105 Kronen ohne Referenzzähne unterschieden sich statistisch und klinisch nicht relevant von den Kronen mit Referenzzähnen (siehe Tabelle 21). Auch konnte im Verlauf der Beobachtungszeit keine klinisch relevante Veränderung bei den Sulkussondierungstiefen und der Blutungsneigung festgestellt werden. Allerdings beeinflusst die Lage des Restaurationsrandes die mittleren Sulkussondierungstiefen sowie die Blutungsneigung. Dieser Unterschied zwischen subgingivaler und supragingivaler Lage beträgt ca. 1 mm.

## Ergebnisse

**Tabelle 19** Mittelwerte und Standardabweichung der Sulkussondierungstiefen (SST, in mm) sowie Blutungsindex (BOP, in Grad 0-3) bei den 116 überkronen Zähne, denen ein nicht-überkronter Referenzzahn zugewiesen werden konnte. Angaben getrennt nach mesialer und distaler Erhebung.

Intervall	Kronen beob.	MW SST-mesial	SD	MW SST-distal	SD	MW BoP-mesial	MW BoP-distal
bis 1 Jahr	42	2,880	0,632	2,829	0,738	0,428	0,439
1-2 Jahre	70	2,914	0,717	2,927	0,879	0,514	0,521
2-3 Jahre	38	2,763	0,675	2,710	0,515	0,394	0,263
3-4 Jahre	19	2,842	0,764	2,736	0,805	0,526	0,421
4-5 Jahre	12	3,000	0,603	3,416	1,443	0,666	0,666
> 5 Jahre	13	3,000	0,408	3,076	1,115	0,615	0,692

**Tabelle 20** Mittelwertunterschiede (MW-Diff) nach Bland & Altman von Sulkussondierungstiefen (SST, in mm) und Blutungsindex (BOP, in Grad 0-3) der überkronen Zähne zu den Referenzzähnen. Angaben getrennt nach mesialer und distaler Erhebung.

Intervall	Kronen beob.	MW-Diff. SST-mesial	MW-Diff. SST-distal	MW-Diff. BoP-mesial	MW-Diff. BoP-distal
bis 1 Jahr	42	0,023	0,170	0,142	-0,122
1-2 Jahre	70	-0,214	-0,304	-0,071	-0,217
2-3 Jahre	38	0	-0,053	0,105	0,105
3-4 Jahre	19	0	0,105	-0,053	-0,158
4-5 Jahre	12	-0,333	-0,364	-0,083	-0,455
> 5 Jahre	13	-0,308	0	-0,154	-0,308

**Tabelle 21** Mittelwerte und Standardabweichung der Sulkussondierungstiefen (SST, in mm) sowie Blutungsindex (BOP, in Grad 0-3) bei den 105 überkronen Zähne, denen kein nicht-überkronter Referenzzahn zugewiesen werden konnte. Angaben getrennt nach mesialer und distaler Erhebung.

Intervall	Kronen beob.	MW SST-mesial	SD	MW SST-distal	SD	MW BoP-mesial	MW BoP-distal
bis 1 Jahr	81	2,876	0,533	2,827	0,441	0,839	0,938
1-2 Jahre	46	3,000	0,788	3,086	0,890	1,434	1,456
2-3 Jahre	57	2,824	0,657	2,877	0,733	1,017	0,754
3-4 Jahre	32	2,937	0,669	3,032	0,657	1,156	1,064
4-5 Jahre	43	3,116	0,543	3,279	0,590	1,023	1,186
> 5 Jahre	48	2,375	0,732	2,750	0,887	0,687	0,687

### 3.6.3 Zähne welche als Brückenanker dienen

49 Patienten besaßen 182 Brückenpfeiler in 75 Konstruktionen. Insgesamt wurden 421 Brückenpfeiler nachuntersucht. 128 dieser Brückenpfeiler hatten einen Referenzzahn. (Analog zu Kap. 3.6.2)

**Tabelle 22** Mittelwerte und Standardabweichung der Sulkussondierungstiefen (SST, in mm) sowie Blutungsindex (BOP, in Grad 0-3) bei den 128 überkronten Ankerzähnen, denen ein nicht-überkronter Referenzzahn zugewiesen werden konnte. Angaben getrennt nach mesialer und distaler Erhebung.

Intervall	Kronen beob.	MW SST- mesial	SD	MW SST- distal	SD	MW BoP- mesial	MW BoP- distal
bis 1 Jahr	42	2,629	0,579	2,666	0,524	0,530	0,462
1-2 Jahre	70	2,710	0,644	2,746	0,745	0,507	0,538
2-3 Jahre	38	2,839	0,596	2,909	0,646	0,500	0,363
3-4 Jahre	19	2,851	0,718	3,000	0,679	0,481	0,703
4-5 Jahre	12	2,812	0,750	3,000	0,632	0,500	0,750
> 5 Jahre	13	3,178	1,656	3,250	1,734	1,080	0,692

**Tabelle 23** Mittelwertunterschiede (MW-Diff.) nach Bland & Altman von Sulkussondierungstiefen (SST, in mm) und Blutungsindex (BOP, in Grad 0-3) der überkronten Ankerzähne zu den nicht-überkronten Referenzzähnen. Angaben getrennt nach mesialer und distaler Erhebung.

Intervall	Kronen beob.	MW-Diff. SST-mesial	MW-Diff. SST-distal	MW-Diff BoP-mesial	MW-Diff BoP-distal
bis 1 Jahr	81	0,172	0,222	-0,025	-0,115
1-2 Jahre	69	0,115	0,074	0	-0,145
2-3 Jahre	56	0,125	-0,091	-0,107	-0,036
3-4 Jahre	27	-0,037	-0,37	0,037	-0,037
4-5 Jahre	16	0,062	-0,5	0,187	-0,5
> 5 Jahre	28	-0,286	-0,357	-0,5	-0,25



## **4. Diskussion**

### **4.1 Vergleichbarkeit der Daten**

#### **4.1.1 Alter und Geschlechterverteilung in der Patientenkohorte**

Die vorliegende Arbeit konnte Daten von 349 vollkeramischen Versorgungen in 95 Patienten über eine Beobachtungszeit von 36 Monaten (1 bis 92 Monate) untersuchen. Dabei entspricht die Altersverteilung für den hier untersuchten festsitzenden Zahnersatz den derzeitigen epidemiologischen Daten [63]. Die in Abbildung 9 (Seite 45) dargestellte Altersverteilung lässt eine Häufung von Patienten im Alter zwischen 25 und 30 Jahren sowie zwischen 45 und 55 Jahren erkennen. Diese zwei Häufungen sind den Versorgungsmustern Einzelzahnversorgung/ Brückenversorgung geschuldet.

So haben in der Gruppe „bis 35-Jährige“ 82 der 220 eingesetzten Kronen sowie 15 der 38 eingesetzten Inlays jedoch nur 17 der 77 eingesetzten Brücken erhalten.

In Betrachtung der Mittelwerte und Standardabweichungen liegt jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied des Alters der Patienten zwischen den Versorgungsformen vor.

Insgesamt ist die untersuchte Kohorte hinsichtlich Alter und Geschlechtsverteilung vergleichbar mit Patienten die Zahnersatz in anderen Studien mit dem Befestigungsmaterial RelyX Unicem (3M Espe) erhalten haben [144].

Auch kann die Verteilung von Patienten und Altersdurchschnitt mit Berichten über Patienten die mit den eigensetzten Zahnersatzformen an deutschen Universitätskliniken erhielten, verglichen werden [60, 111].

Diese Grundvoraussetzungen zur Vergleichbarkeit des Patientenklintel ermöglicht also im Weiteren den Vergleich mit klinischen Daten anderer Untersuchungen.

### **4.1.2 Vergleichbarkeit der Untersuchungsmethodik**

Die Daten der vorliegenden Studie wurden durch klinische Untersuchungen erhoben. Diese klinischen Untersuchungen sind zum einen die Erhebung des Zahnstatus gemäß der BEMA Ziffer 01 sowie eines Hygienestatus mit Sondierung der Zahnfleischtasche an mesialer und distaler Fläche des Zahnes sowie Beobachtung der nach 10 Sekunden auftretenden Blutungsneigung. Beide Untersuchungen lassen eine Einschätzung über die Mundgesundheit, vorhandene, erkrankte und gesunde Zähne zu. Um die Integrität und Qualität zahnärztlicher Restaurationen genauer zu bestimmen wurden für die vorliegende Arbeit die Qualitätsbewertungen nach modifizierten Kriterien der California Dental Association (CDA) – die sogenannten Ryge-Kriterien verwendet [23, 118].

Diese Untersuchungsmethode wurde im Jahr 2007 durch Hickel et. al. nochmals modifiziert [56]. Um die Standardisierung der Kriterien zu verbessern, wurde die Bewertung „Alfa“ nochmals untergliedert in „Alfa 1“ und „Alfa 2“. Diese Abtrennung der Alfa-Bewertung schlägt eine Brücke zwischen einer Beurteilung als „einwandfrei“ (Alfa/ Alfa 1) und „akzeptabel“ (Bravo), in dem die Bewertung „gut“ (Alfa 2) eingefügt wurde.

Dieser Kriterienkatalog wird als „modifizierte USPHS-Kriterien“ (modified United States Public Health Service – Criteria) bezeichnet.

Als nachteilig ist also zu bewerten, dass die vorliegende Untersuchung letztgenannte Unterteilung nicht berücksichtigt. Weiter ist methodologisch davon auszugehen, dass die Rationale für die Einführung dieser Unterteilung der „Alfa-Klasse“ sich in der Bewertung der hier ausgewerteten Daten niederschlagen (Problem der Trennschärfe). Konkret bedeutet das, dass hypothetisch ein unbekannter Anteil der Bravo Bewertungen unter Umständen einer Alfa 2 Bewertung zuzuschlagen wäre und damit die Gruppe der Alfa Bewertung (einwandfrei und gut) gegebenenfalls größer wäre.

Als vorteilig für die vorliegende Arbeit ist allerdings zu berücksichtigen, dass nach novelliertem Bewertungssystem Randspalt Größe und Randspalt Verfärbung in dem Kriterium „Randintegrität“ vereint sind - und nach dem hier

angewendetem System eine getrennte Aussage zu Randpassung und Randverfärbung getroffen werden kann.

Die als unerwünschte Ereignisse (AE und SAE) klassifizierten Beobachtungen sind durch ihren einschlägigen Charakter in der zahnärztlichen Literatur zum Überleben und zur Leistungsbewertung von Zahnersatz vergleichbar. Allerdings weichen - je nach Fokus der Untersuchung - die Zuordnung als zu berücksichtigendes Ereignis für Komplikation oder Versagen, ab.

Selbiges wurde in der vorliegenden Arbeit festgelegt – insbesondere die Ereignisse „die mit dem Befestigungsmaterial assoziiert sind“; also das Versagen des Befestigungsmaterial. Dazu zählte auch der Retentionsverlust, welcher mit Blick auf den Erfolg der ganzen Restaurationen nur als Komplikation und nicht als Versagen gewertet wurde. Hier bewerten die USPHS Kriterien einen Retentionsverlust (unabhängig davon, ob die Restauration wieder eingesetzt und weiter erfolgreich getragen werden kann) stets als „Delta“ - und somit als Versagen der Restauration.

Um letztendlich eine Vergleichbarkeit von Daten herzustellen bietet es sich an die Prävalenz eines einschlägigen Ereignisses in Bezug auf Restaurationen und / oder Patienten mit Berücksichtigung der durchschnittlichen Beobachtungszeit zu nutzen.

### **4.1.3 Restaurationen und Beobachtungen der Kohorte**

Der hohe Anteil an oxidkeramisch-basierten Restaurationen (80 %, siehe Abbildung 13, Seite 50) ist eine Folge des Einsatzprotokolls zur Anwendung von RelyX Unicem (3M Espe) als Standard-Befestigungsmaterial an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik für Oxidkeramisch-basierte Restaurationen. Um eine Bewertung abhängig vom Restaurationsmaterial vergleichend zu gewährleisten, bietet es sich an, die Vergleiche in oxidkeramisch-basierte Kronen, oxidkeramisch-basierte Brücken sowie Einzelzahnversorgung auf Basis von Silikatkeramiken zu untergliedern.

Für letztere Materialgruppe sind die CAD/CAM gefrästen Silikatkeramiken VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik H. Rauter) und Paradigm C (3M Espe)

als häufigste eingesetzte Materialien hervorzuheben. Eine Aussage bezogen auf den Restaurationstyp erlaubt sich hier vergleichend jedoch nur für die Kronen (n=27) und Inlays (n=37).

Da die Beobachtungszeit der silikatkeramisch-basierten Restauration im Median bei 27 Monaten (Mittelwert 36 Monate) und die der oxidkeramisch-basierten Brücken bei 27 Monaten (Mittelwert 33 Monate) liegt können hier maximal drei Jahresdaten zum Vergleich herangezogen werden.

Bei den silikatkeramischen Versorgungen sind die 27 Kronen im Mittelwert 51 Monate und im Median 46 Monate, die Inlays im Median 43 und im Mittelwert 45 Monate unter Beobachtung. Deshalb werden hier maximal 4-Jahresdaten zum Vergleich herangezogen.

Hinsichtlich der Verteilung der Restaurationen auf die Kiefer bzw. die Lage der Restaurationen in den Kiefern bleibt hervorzuheben, dass sich im Frontzahnggebiet 20 Kronen und 13 Brücken befinden. Sieben Teilkronen und ein Veneer sind mit RelyX Unicem (3M Espe) befestigt worden.

Im Frontzahnbereich wurden insgesamt sieben Chip-offs, fünf Rissausbreitungen in der Keramik, ein endodontologisches Problem, ein Verlust der Retention und zwei ungenügende Randpassungen (Rating Tango) sowie drei Frakturen der Restauration beobachtet.

19 der 72 beobachteten Komplikationen (26,4 %) entfallen damit auf 30,6 % der Restaurationen. Damit sind Front- und Seitenzahnbereich vergleichbar häufig von Restorationskomplikaationen betroffen.

Beim Versagen von Zahnersatz entfallen 2 der 12 schwerwiegenden Komplikationen auf Zähne im Frontzahnbereich. Damit ist im Frontzahnbereich die Prävalenz von Versagen nur halb so hoch wie im Seitenzahnbereich.

## **4.2 Ereignisse die das Befestigungsmaterial betreffen**

Bei neun Patienten und zehn Konstruktionen konnten zehn einschlägige Ereignisse, die dem Befestigungsmaterial zuzurechnen sind, beobachtet werden.

Somit beträgt die Prävalenz der Komplikationen mit dem Befestigungsmaterial 2,8%. Betrachtet man Abbildung 21 (Seite 63) fällt auf, dass nach 48 Monaten ca. 3 % der Inlays, Kronen und Brücken von einer solchen Komplikation wahrscheinlich betroffen sind. Auffällig ist allerdings, dass Brücken bereits zu einem früheren Zeitpunkt (ca. zwölf Monate), danach Kronen (ca. 24 Monate) und später Inlays (ca. 36 Monate) von einer oder mehreren solcher Komplikationen betroffen sind.

Zur vergleichenden Untersuchung liegt zum derzeitigen Zeitpunkt nur wenig Literatur mit klinischen Ergebnissen vor [16, 37, 46, 69, 83, 144].

Die in Tabelle 10 auf Seite 60 aufgeführten Komplikationen und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können zu diesen Berichten wie folgt eingeordnet werden.

### **4.2.1 Hypersensibilität**

Bezogen auf alle 349 Restaurationen beträgt die Prävalenz von Hypersensibilität 0,03 %. Berücksichtigt man nur die Gruppe in der die Hypersensibilität beobachtet wurde, also oxidkeramisch-basierte Brücken, beträgt die Prävalenz 1,3 %. Bei diesen Daten muss berücksichtigt werden, dass nur vom Patienten berichtete Hypersensibilitäten dichotom (Ja/Nein) einbezogen wurden. Dies ist konkordant mit Baader et.al., und Taschner et.al. welche beide in ihren Kohorten keine Hypersensibilität beobachten konnten [9, 133]. Bei einer Untersuchung mit Teilkronen die nur mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden, berichten Federlin et.al. von 13% Hypersensibilität zur Baseline-Untersuchung, welche jedoch auf 0 % nach 36 Monaten zurückgehen [37]. Andere Autoren untersuchten die Hypersensibilität mittels Provokationstest (Luftzug, Trockeneis) und fanden dabei keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen einem selbstadhäsiven Befestigungszement (iCem, Heraeus Kulzer) und einem kunststoffmodifizierten Glasionomer Zement

(Fuji Plus, Fa. GC Comp.) [16]. Bei einer anderen Untersuchung mit Provokationstests (kaltes Wasser, Luftzug, Trockeneis) im Vergleich von zwei selbstadhäsiven Befestigungsmaterialien und einem adhäsiven Komposit-Befestigungsmaterial, konnte eine Verlaufskurve über zwölf Wochen zur subjektiven Empfindlichkeit erstellt werden. Dabei erreichten in allen drei Tests bereits nach sechs Wochen bei der semiadhäsiven Befestigungszemente den Anfangswert vor Versorgung. Außerdem lagen die Bewertungen der semiadhäsiven Befestigungszemente deutlich unter denen der „adhäsiven Gruppe“ [119].

Diese „gute Verträglichkeit“ kann mit dem Verzicht auf eine Ätzung des Dentins erklärt werden. Außerdem wurde gezeigt, dass selbst bei Nähe zum Pulpen cavum eine vergleichsweise geringere Reaktion der Pulpa auf die Anwendung des semiadhäsiven Befestigungszements im Vergleich zu volladhäsivem Vorgehen hervorgerufen wird [26].

### **4.2.2 Retentionsverluste**

Die beobachteten Retentionsverluste haben bei Brücken eine Prävalenz von 2,6 %, bei Inlays von 5,4 %, und bei Kronen von 3,7 %.

Für zirkonoxid-basierte Brücken berichtet Perry et.al. nach zwei Jahren von keinem Retentionsverlust bei 16 untersuchten Brücken in 15 Patienten [94]. Ebenso konnten Crisp et.al. nach drei Jahren mit 41 Zirkonoxid basierten Brücken in 36 Patienten keinen Retentionsverlust beobachten [22]. Bei den zwei Brücken der vorliegenden Arbeit können die Retentionsverluste im klinischen Fall auf eine unzureichende Präparationsgeometrie bei zu kurzen Stümpfen erklärt werden - weshalb eine der Brücken im Nachgang auch adhäsiv befestigt wurde.

Für Inlays aus Empress 2 (Ivoclar Vivadent) berichten Peumans et.al. eine vergleichbare Prävalenz von 3,2 % binnen zwei Jahren, und 4,8% nach vier Jahren [95, 96]. Allerdings schließt letztere Prävalenz auch den Retentionsverlust eines Inlays durch Fraktur ein. Macrondes et.al. hatten in 10

mit RelyX Unicem (3M Espe) befestigten Inlays binnen eines Jahres keinen Retentionsverlust beobachtet [83]. Nach 2 Jahren waren auch in den 43 Inlays und Onlays von Taschner et.al. kein Retentionsverlust verzeichnet [133]. Auch Atali et.al. beobachtete keinen solchen nach 3 Jahren bei jeweils 10 Onlays, die mit Maxcem (Fa. Kerr GmbH, Rastatt, Deutschland) bzw. Clearfil Esthetic Cement (Fa. Kuraray Europe GmbH, Hattersheim am Main, Deutschland) eingesetzt waren [5]. Diesen Studien ist allerdings eine hohe Standardisierung im Behandlungsablauf und damit - protokollbedingt - bei der Auswahl der Restaurationen / Patienten vorzuhalten.

Bei den Kronen fanden sich für oxidkeramische wie auch metallkeramische Gestaltung keine Berichte von Retentionsverlusten bei einer Zementierung mit einem selbst-adhäsiven Zement [13, 46, 101]. Allerdings berichtet Federlin et.al. bei 68 Teilkronen die mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden nach einem Jahr von einer, nach zwei Jahren von drei, und vier Retentionsverlusten nach drei Jahren. Also einer Prävalenz von 5,9% in einem vergleichbaren Zeitraum.

Die Beobachtungen in der vorliegenden Studie zeigen gleichwohl, dass die adhäsive Kompetenz, konkret der Verbund zum Dentin, im klinischen – nicht prospektiv angelegten - Setting niedriger ist, als die erreichten Werte in Laborversuchen [8] und hier die Grenzen der selbstadhäsiven Zemente hinsichtlich der Haftkraft an Zahnhartsubstanz erreicht sind. Das bedeutet konkret, dass kleine, dentinbasierte Klebeflächen keine suffiziente Adhäsion gewährleisten und dann ein volladhäsives Vorgehen zu bevorzugen ist [32].

Diese Beobachtung, dass sich RelyX Unicem (3M Espe) von Dentin eher löst als von einem Restaurationsmaterial (in dem Falle der Kunststoff PMMA) ist in einer klinischen Studie mit Brücken berichtet worden [62]. Denn, der adhäsive Verbund mit einem Restaurationsmaterial – auch zur Oxidkeramik - kann mit den zur Verfügung stehenden Technologien (Silanisierung) optimal gewährleistet werden [65].

Betrachtet man die Prävalenz von Retentionsverlust mit RelyX Unicem (3M Espe) zur gesamten Literaturlage von Kronen und Brücken ordnet sich das Material in der oberen Gruppe ein (seltenes Versagen). In 7 von 16 Studien fand ein Review Retentionsverluste bei Oxidkeramisch-basierten Brücken [3], vornehmlich in konventioneller Zementierung. Zu gleichem Ergebnis kam auch der Review von Schley et.al.[125]. Auch Rinke et.al. berichten bei 323 Y-TZP-basierten Kronen die konventionell zementiert waren von 31 Retentionsverlusten (10%) binnen 5 bis 7 Jahren; also knapp 2% jährlich [113]. Dies spiegelt sich auch im Review von Raigrodski, der 9 Retentionsverluste in 100 Komplikationen berichtet [108]. In einer weiteren Praxis-basierten Untersuchung verursachte beispielsweise kunststoffmodifizierter GIZ bei Zirkonoxid-Kronen häufiger Retentionsverluste als bei Metallkeramik-Kronen [112].

Für Inlays und Onlays hingegen konnte die Untersuchung von 5.791 Restaurationen eines Praxisnetzwerks zeigen, dass die Anwendung vereinfachter Adhäsivsysteme („selbst-adhäsiver“ Befestigungszement oder 2 Schritt total-etch) eine jährliche Versagensrate von 1,9% im Gegensatz zu 0,9% für ein „3-step total etch“ und „2 step self-etch“ Verfahren verursacht [19].

Auch im Vergleich von Klink & Huettig schneiden adhäsiv befestigte CAD/CAM generierte Inlays (VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik H. Rauter)) auf 48 Monate besser ab, als die mit RelyX Unicem (3M Espe) befestigten (Komplikationsrate 7% versus 15%) [69].

Es bleibt hervorzuheben, dass sämtliche unerwünschte Ereignisse die bei den Inlays in der vorliegenden Studie beobachtet wurden, mit dem Befestigungsmaterial assoziiert sind (siehe Tabelle 10, Seite 60). Hinsichtlich des zu erwartenden Retentionsverlustes ist daher die volladhäsive Befestigung silikatkeramischer Inlays der semiadhäsiven Befestigung zu bevorzugen.

### **4.2.3 Randpassung, Randverfärbung und Sekundärkaries**

Die Ergebnisse der Qualitätsvariablen Randpassung und Randverfärbung sind nur begrenzt mit klinischen Daten anderer Studien vergleichbar. Insbesondere



das Fehlen klinische Untersuchungen der Randintegrität bei Oxid-keramischen Brücken und Kronen sowie silikatkeramischer Kronen welche mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt worden, sind hier maßgeblich. Allerdings erlaubt die etwas breitere Studienlage bei Inlays, Onlays und Teilkronen ein Vergleich dieser beiden Variablen. Hilfsweise werden für oxidkeramisch basierte Kronen und Brücken sowie für silikatkeramische Kronen Daten von adhäsiv befestigten Restaurationen als Vergleich herangezogen.

### *Randintegrität und -verfärbung der Inlays*

Bei der Randpassung von Inlays zeigte die vorliegende Arbeit 100 % einwandfreie Randpassung über die ersten zwei Jahre und ein Rückgang auf 87 % nach vier Jahren. Taschner et al. fanden binnen zwei Jahren ein Rückgang von 91 % auf 67 % bei Empress 1 (Ivoclar Vivadent) Inlays [132, 133]. Atali et.al. fanden binnen 36 Monaten ein Rückgang der Alfa-Bewertung für Randpassung von 100 % auf 70-90 % bei ungeätztem vs. geätztem Schmelzrand [5]. Die Empress 2 (Ivoclar Vivadent) Inlays von Peumans et.al. zeigten zur Baseline 100-96 % aller Bewertungen, die binnen 48 Monaten auf 71 bzw. 84 % bei ungeätztem vs. geätztem Schmelzrand zurückfiel [96]. Auf ein Jahr fällt auch in letztgenannter Studie die Anzahl der Alfabewertungen von 100 % auf 75 %. Azevedo et.al. berichten ebenfalls über 100 % Randpassung nach einem Jahr [8]. Wesentlich stärkere Verluste einer einwandfreien Randpassung berichtet Federlin et.al. für die 46 Teilkronen, bei welchen die Randpassung von 95 % auf 18 % in der Alfa-Wertung abfällt (bei geätzten Schmelzrändern auf 27 %). Hier fallen neben 5 % Delta Wertungen auch fünf bzw. 10 % Charlie Wertungen nach 36 Monaten auf [37].

Wie oben ausgeführt ist nur bei drei Untersuchungen die Randverfärbung von der Randintegrität (i.S.v. Randspalt) getrennt (s. Kapitel 4.1.2): Federlin et.al. berichten bei den Teilkronen nach 36 Monaten nur noch 46 % ohne jegliche Randverfärbung (Rating Alfa) weitere ca. 21 % besitzen eine Randverfärbung, welche nicht in die Tiefe dringt; gefolgt von 33 % Randverfärbung die in die Tiefe dringt [37]. Bei Azevedo et.al. beträgt die Randverfärbung zwischen 0%

und 5,3 % (Bravo) [8], bei Atali wurden 20 % Bravo und 10 % Charlie Wertungen bei dem Produkt Maxcem (Kerr) nach 36 Monaten festgestellt worden [5]. Beim Konkurrenzprodukt Clearfil Esthetic Cement (Kuraray) war nur ein Rückgang um 10% zugunsten von Bravo Wertungen festgestellt worden.

Wie in Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt, verteilen sich die Inlays vornehmlich auf die Gesamtwertungen der Rankings Romeo und Sierra - über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg. Analog zum Versagen der Inlays treten erst nach 4-5 Jahren Qualitätsrankings der Stufen „Tango“ und „Victor“ auf. Bei den Randverfärbungen in der vorliegenden Untersuchung ist ein Abfall von eingangs 85% ohne Randverfärbung auf 67 % nach 4-5 Jahren zu verzeichnen. Damit ist die in der Literatur beschriebene Tendenz zu Randverfärbung bei Inlays, welche mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt werden, ersichtlich. Im Hinblick auf ein langfristig ästhetisches Ergebnis ist das allerdings hinsichtlich Randverfärbung fraglich, ob es mit moderner adhäsiver Befestigung ebenbürtig ist. Denn hier berichtet die Literatur über einen Zeitraum von 3 Jahren von ebenso 62% bis 65% der Restaurationen ohne Randverfärbungen [110, 123]. Jedoch ist der Einfluss volladhäsiven Vorgehens mit absoluter Trockenlegung weniger empfänglich für Randverfärbungen [110] – und kann bei neueren Adhäsivsystemen nach 3 bis 4 Jahren nur noch die Randverfärbungs-Prävalenz von 5% bis 15% aufweisen [30, 45].

### *Randintegrität und -verfärbung von oxidkeramischen Brückenpfeilern und Kronen*

Die Randpassung der Brückenpfeiler zeigt im kurzfristigen Verlauf nach ca. 2-3 Jahren das Auftreten fraglicher Ränder in einer Größenordnung von 2-3%. Damit sind über 95 % der Ränder über den zeitlichen Verlauf stabil „einwandfrei“ bzw. „akzeptabel“. Im Vergleich zu den Inlays kann jedoch bei den Brückenpfeilern, wie auch bei den oxidkeramisch-basierten Kronen, keine signifikante Veränderung der Randverfärbung festgestellt werden. Dieses Ergebnis, kann methodischer Natur sein. Denn, im Vergleich zu Inlays besteht bei Kronen und Brückenpfeilern in der Regel ein Übergang verblendeter Bereiche oder des Gerüsts in die Zahnhartsubstanz der Zahnhals-/

Wurzelregion des Zahnes. Hierbei ist auch unter Berücksichtigung der Lage des Randes zur Gingiva und zur Vergleichsfarbe des Wurzelodontins entweder eine Beurteilung einer Verfärbung für den Untersucher schwerer zu diskriminieren oder die Randverfärbung in ästhetischer Passung mit der Farbe der Zahnhartsubstanz. Die Randverfärbung bei Kronen und Brückenankern von adhäsiv befestigten Zirkonoxid-Gerüsten (IPS e.max ZirCAD; Multilink Befestigungsmaterial, beides Ivoclar Vivadent) zeigte über drei Jahre in einer klinisch vergleichbaren Studie keine Zunahme der Randverfärbung bei gleichbleibender Randpassung [120].

### *Randintegrität und -verfärbung der silikatkeramischen Kronen.*

Im Kontrast zu oxidkeramisch-basierten Kronen sind bei silikatkeramischen Kronen nach ca. drei Jahren gehäuft Randverfärbungen (Rating Bravo) zu beobachten. Mit Bezug auf die Überlegung zur Etikettierung von Randverfärbung bei oxidkeramischen Kronen muss hier - aufgrund der häufig supragingivalen Lage und damit der Randeinpassung im Bereich des Schmelzes - bei transluzentem Restaurationsmaterial davon ausgegangen werden, dass Verfärbungen einfacher und damit häufiger zu detektieren sind. So erreicht nach drei Jahren die Randverfärbungs-Prävalenz ca. 26,7 % und ist damit vergleichbar mit denen der Inlays. Die Randpassung silikatkeramischer Kronen zeigt sich im klinischen Verlauf zu 87 % einwandfrei. Nach ca. drei Jahren sind ungefähr 13 % der Restaurationen mit akzeptablen Rändern; drei Restaurationen (10%) zeigten fragwürdige Ränder. Eine Restauration wies eine Sekundärkaries auf. Nach ca. drei Jahren kann jedoch im Kontext mit dem eingesetzten Restaurationsmaterial, vornehmlich Feldspatkeramik bzw. Leucit-verstärkter Glaskeramik, festgestellt werden, dass diese vergleichsweise unterdurchschnittliche Leistungsfähigkeit unabhängig von der Befestigung aufweisen [69]. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Anfertigung von Einzelzahnkronen auf Basis dieses Materials im Seitenzahnbereich nicht mehr indiziert; vor allem nicht in Sinne einer selbstadhäsiven Befestigung. Die Kombination aus den Festigkeitswerten der Keramik und der adhäsiven sowie druckstabilen Kompetenz des Befestigungsmaterials scheinen durch die

biomechanischen Kräfteinwirkungen zu ermüden. Aus diesem Grund ist für silikatkeramisch basierte Restaurationen lediglich im Frontzahnbereich bei Para- oder subgingivaler Lage die Verwendung eines selbstadhäsiven Befestigungsmaterials als Option zu berücksichtigen. Silikatkeramische Kronen im Seitenzahnbereich auf Basis von Lithium-Disilikat könnten allerdings mit selbstadhäsiven Befestigungsmaterialien erfolgsversprechend sein, da diese in adhäsiver wie auch konventioneller Zementierung als leistungsfähig und sicher beschrieben sind [36, 61, 97].

#### **4.2.4 Analyse zu den Untersuchungen der parodontalen Gesundheit**

Da die Untersuchung hinsichtlich Referenzzähnen und zeitlichem Verlauf keine klinisch und statistisch relevanten Unterschiede zeigte, ist davon auszugehen, dass die Restauration respektive das Befestigungsmaterial am Randspalt keinen Einfluss auf die parodontale Gesundheit des Zahnes im Gebiss des jeweiligen Patienten haben. Die bisher vorliegenden klinischen Untersuchungen mit dem Befestigungsmaterial RelyX Unicem (3M Espe) adressieren nur vereinzelt die parodontale Gesundheit.

So fanden Behr et.al. nach 3 Jahren Beobachtungszeit keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Sulkussondierungstiefe und Blutung in einem inter-individuellen Vergleich von Zahnersatz, der mit RelyX Unicem (3M Espe) bzw. Zinkoxidphosphatzement eingesetzt war. Im intraindividuellen Vergleich von metallkeramischen Kronen, die entweder mit klassischem Harvard Zement oder mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden, fanden Piwowarczyk et.al. auch keine Unterschiede hinsichtlich Blutung und Sondierungstiefe [101]. Allerdings konnten diese Autoren feststellen, dass die Sulkusfließrate (eine messbare Flüssigkeitsabgabe in der Zahnfleischtasche als Surrogatparameter entzündlicher Reaktionen) bei Restauration die mit Zinkoxidphosphatzement eingesetzt waren im Mittelwert höher lagen als bei Restauration die mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt waren. Maßgeblich für diese Biokompatibilität kann die geringe Löslichkeit des Befestigungsmaterial RelyX Unicem (3M Espe) in Wasser sein [142].

Eine Untersuchung hinsichtlich der Lage des Restaurationsrandes ermöglichte jedoch bei den Kronen darzustellen, dass wiederum unabhängig vom zeitlichen Verlauf die Sulkussondierungstiefen wie auch die Blutungsneigung bei subgingivaler Lage deutlich höher ist, als bei supragingivaler Lage. (siehe Abbildung 41 und Abbildung 42). Dies kann mit einer chronischen Reaktion auf die Anwesenheit eines Biomaterials im Saumepithel erklärt werden, welches bereits kurz nach dem Einsetzen von Restaurationen – unabhängig vom eingesetzten Werkstoff – eine Immunreaktion auslöst [122]. Diese Beobachtungen sind allerdings vergleichbar zu den klinischen Beobachtungen von Padbury et.al. [92], wonach eine subgingivale Lage durch Einstellung der physiologischen sog. „biologischen Breite“ (Abstand des Alveolarknochens zum Restaurationsrand) von ca. 1 mm auch mit erhöhten Sulkussondierungstiefen einhergeht.

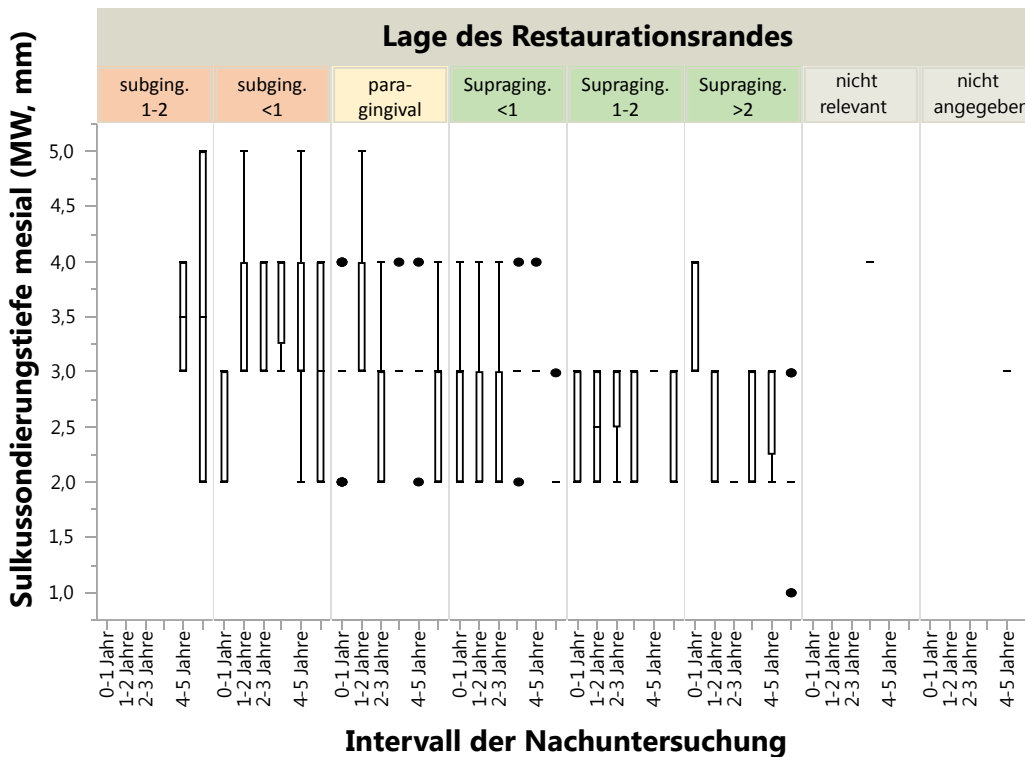
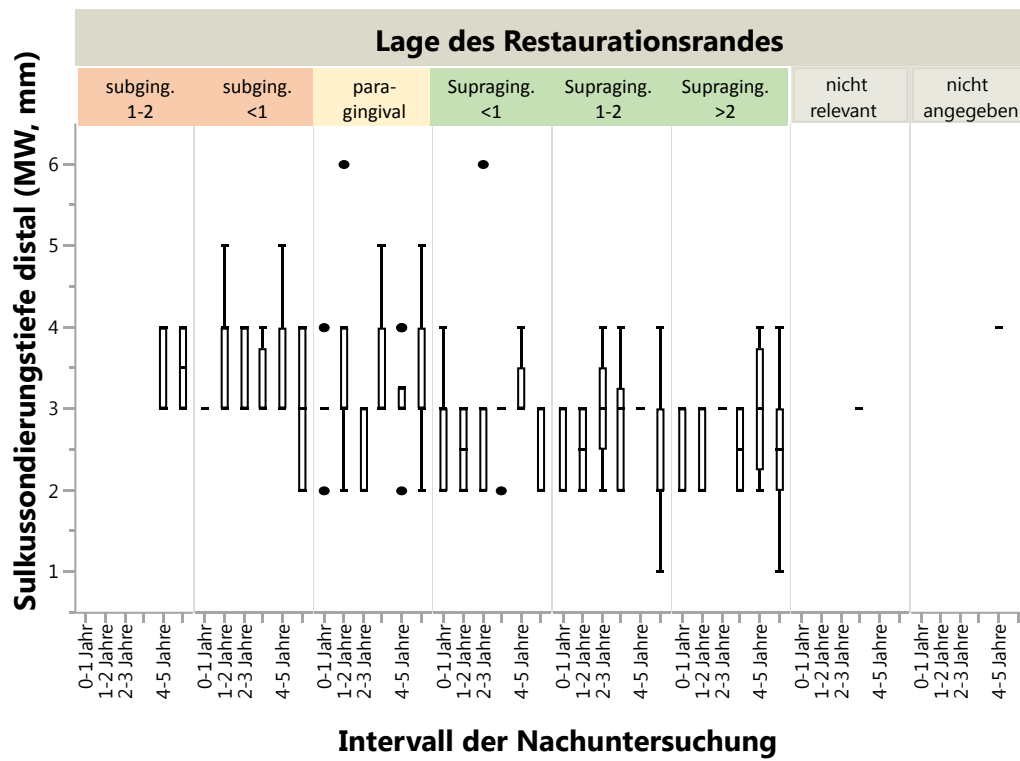
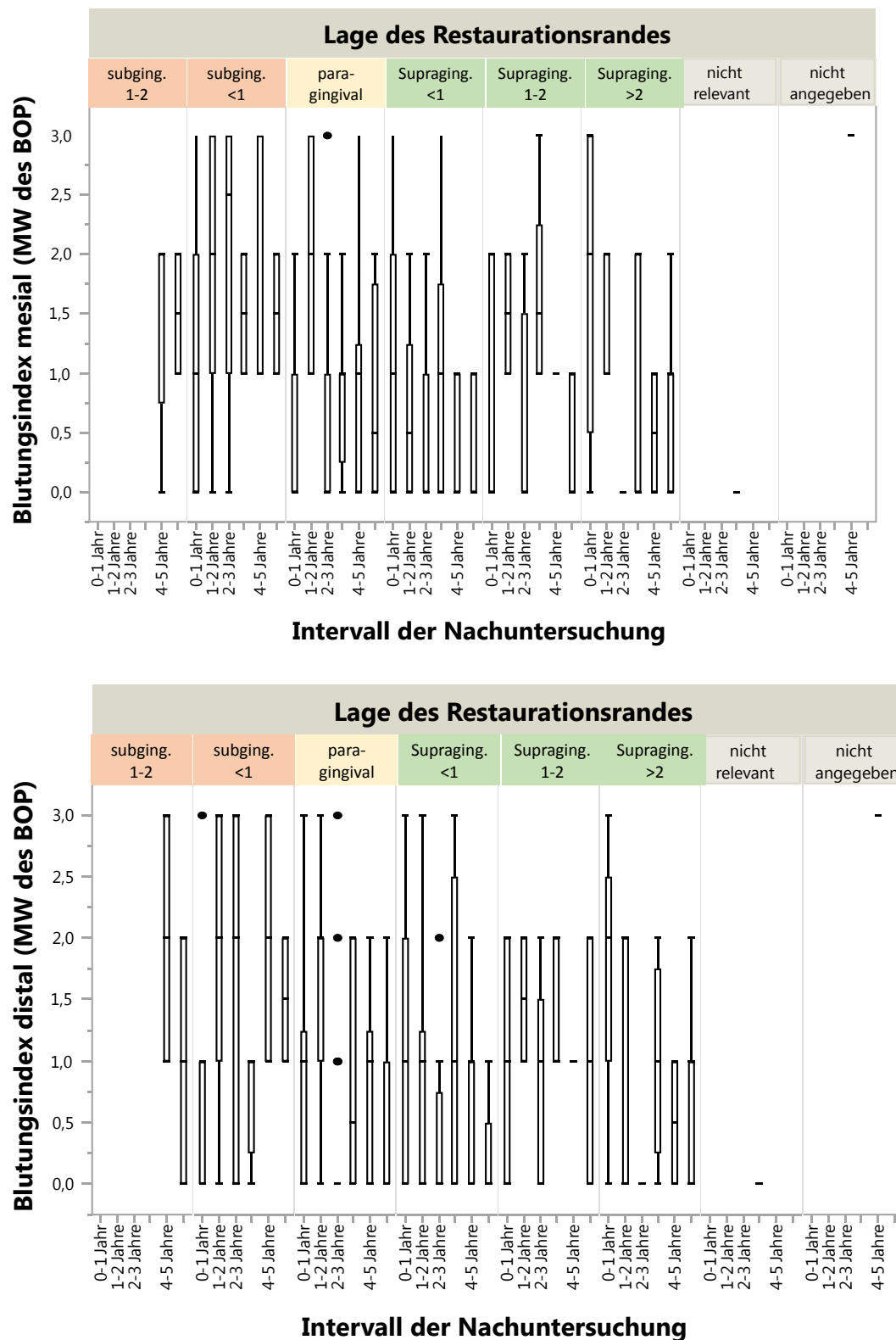


Abbildung 41 Einfluss der Lage des Restaurationsrandes auf die mittleren Sondierungstiefen (y-Achse) mesial (unten) und distal (oben) im Beobachtungslauf (x-Achse):



**Abbildung 42** Einfluss der Lage des Restaurationsrandes auf die Blutungsneigung (y-Achse) mesial (unten) und distal (oben) im Beobachtungslauf Zusammenfassung

### 4.3 Leistungsfähigkeit der Restaurationen im Vergleich zu Literaturdaten

In der vorliegenden Arbeit kann vorrangig die Leistungsfähigkeit von:

- Oxidkeramisch basierten Brücken (N=76)
- Oxidkeramisch basierten Kronen (N=194)
- Silikatkeramischen Kronen (N=27) und
- Silikatkeramischen Inlays (N=37)

bewertet werden. Damit sind 95,7% aller Restaurationen berücksichtigt.

#### 4.3.1 Oxidkeramische Brücken

Auf 36 Monate sind bei 39,8 % (CI = 0,27-0,54) der oxidkeramischen Brücken Komplikationen zu erwarten. Die 24 Ereignisse beinhalteten vornehmlich Verblendkomplika­tionen – sog. „Chip offs“ (n=14) – und nur 3 Fälle von Versagen (2x Fraktur des Gerüsts und eine Sekundärkaries).

Die Komplikationsprävalenz von 31,6% in dieser Beobachtungszeit liegt im oberen Bereich - vergleicht man mit Berichten aus kontrollierten Studien, die in Reviews gelistet werden: Hier liegt die Prävalenz auf 36 Monate bei: 44%, 30%; 14%, 16%, 15% [108], wobei auch die chip-offs einen vergleichbar hohen Anteil an allen Komplikationen haben (51%). Als wesentliche Ursache hierfür werden Traumatisierungen der Verblendkeramik durch Einschleifmaßnahmen betrachtet. In-Vitro-Untersuchungen zeigten, dass eine unzureichende Politur von durch Einschleifen geschädigten Verblendkeramiken auf oxidkeramischen Gerüsten zu einer erniedrigten Biegefestigkeit dieser führen [35, 48].

Daraus resultiert jedoch auch, dass das Überleben dieser Versorgungsform hoch ist. Im eben zitierten Review sind auf 3 Jahre zwischen 90,5%, 96,6% und 100% Überleben berichtet. Mit 96,7% Überleben ordnen sich die Daten der hier untersuchten zumeist Oxidkeramisch-basierten Brücken ein. Das ist vergleichbar mit der von Pjetursson et.al. ermittelten jährlichen Versagensrate von 2% (CI=1.2-3.3) für oxidkeramisch-basierte Brücken [102].



### **4.3.2 Oxidkeramische Kronen**

Die Komplikationsrate von 20,7% auf 36 Monate sowie - auf 60 Monate wurde eine Komplikationsrate von 27,6% bei oxidkeramisch-basierten Kronen ermittelt. Damit ist ersichtlich, dass diese Konstruktionsform im kurzfristigen Verlauf bereits wesentliche klinische Probleme, die einer Intervention bedürfen aufweisen – danach jedoch erfolgreich funktionieren. Die hier festgestellte Leistungsfähigkeit ist vergleichbar mit den Daten von Sailer et.al. [121], wobei die 5-Jahres Eintrittswahrscheinlichkeit für chipping mit 20% allerdings deutlich über den berichteten bis zu 5% liegt – jedoch mit anderen klinischen Studien vergleichbar ist (15%) [72].

### **4.3.3 Silikatkeramische Kronen**

Jede zweite silikatkeramische Krone war nach 60 Monaten von einer Komplikation betroffen (53%). Wesentlich haben dazu die Rissausbreitungen (8 in 27 Kronen) beigetragen. Diese Rissausbreitungen können klinisch nur durch Ersatz der Restauration „behandelt“ werden. Dies ist jedoch häufig in Abwägung zur Alternative „belassen“ nicht angezeigt. Denn, die Rissausbreitungen sind in der Regel nur bei getrocknetem Zahn und eingehender Sichtprüfung sichtbar. Wie in der vorliegenden Studie ersichtlich, folgte auf diese Beobachtung kein Versagen einer Restauration etwa durch totale Fraktur. Ein Zusammenhang mit dem Befestigungsmaterial ist hier allerdings naheliegend – insbesondere hinsichtlich der adhäsive Kompetenz und Druckstabilität des Befestigungsmaterials zur Unterstützung der geringen Biegefestigkeit der Silikatkeramik [130, 147].

Gleichwohl muss berücksichtigt werden, dass diese Rissbildungen bei nur zwei von neun Patienten mit insgesamt fünf und sechs solcher Kronen aufgetreten sind. Damit kann auch eine Behandler- und / oder patientenspezifischer Bias nicht ausgeschlossen werden. Denn beide Patienten hatten ebenfalls weitere Komplikationen an anderen Restaurationen – etwa chip-offs.

Ohne diese zwei Patienten läge die Komplikationsrate auf 24 Monate bei 12,5% und auf 60 Monate bei 31% - das ist mit Rücksicht auf die Leuzit-verstärkten Restaurationen vergleichbar [9], jedoch sind Silikatkeramiken mit höherer Biegefestigkeit hier vermutlich – auch in Zukunft – überlegen [28, 61, 105].

#### **4.3.4 Silikatkeramische Inlays**

Die Leistungsfähigkeit der hier untersuchten Inlays war maßgeblich durch Ereignisse, die dem Befestigungsmaterial zuzuordnen sind beeinträchtigt. Allerdings war die Prävalenz von Komplikationen mit 11% vergleichsweise zu anderen Restaurationstypen gering. Allerdings ist das Auftreten zweier Versagen durch Randimperfection (n=1) und der Fraktur des Inlays (n=1) binnen 5 Jahren vergleichbar mit der Versagensrate von 5% in den Literaturdaten [87]. Einschlägige Komplikationen bei Inlays führen eher zu deren Versagen und werden daher vornehmlich berichtet [44, 87], weshalb die jährliche Versagensrate bei ca. 1% angelegt werden kann. Allerdings sind auch hier durch Fortschritte in Materialien und Adhäsivtechnik in Zukunft bessere klinische Langzeitergebnisse zu erwarten als es die herkömmlichen Leuzit-verstärkten Silikatkeramiken liefern [43, 45, 123].

## **5. Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit konnte Daten zu 349 Restaurationen die mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt und über einen mittleren Zeitraum von 3 Jahren beobachtet sowie klinisch qualitativ bewertet wurden, auswerten. Anhand der Datenauswertung und Beurteilung im Kontext vergleichbarer klinischer Untersuchungen konnten die vier Forschungsfragen (s. Seite 25) wie folgt beantwortet werden:

### **5.1 Beantwortung der Forschungsfragen**

Ad 1.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass nur ein kleiner Anteil von Ereignissen dem Befestigungsmaterial zuzurechnen sind. Konkret war das Versagen des Befestigungsmaterials - unter den aufgestellten Annahmen - auf 3 Jahre nur in 2 von 100 Restaurationen wahrscheinlich.

Von dieser Betrachtung bleibt unberührt, dass das Auftreten der hier eingeschlossenen Fälle auch Nebenfaktoren wie etwa Mundhygiene des Patienten unberücksichtigt ließ.

Insgesamt konnte eine höhere Leistungsfähigkeit im Vergleich zu „klassischen Zementen“ bei oxidkeramischen Kronen und Brücken festgestellt werden. Insbesondere die Prävalenz von Retentionsverlusten stellt sich hier wesentlich niedriger dar als bei klassischen Zementen. Allerdings zeigte sich bei silikatkeramischen Inlays und Kronen die selbst-adhäsive Befestigung der voll-adhäsive Befestigung unterlegen.

Ad 2.

Die technischen Ereignisse an dem vollkeramischen Zahnersatz sind vergleichbar zu Berichten anderer Autoren. Bei silikatkeramischen Restaurationen stehen Rissausbreitungen in der Keramik sowie Retentionsverlust im Vordergrund (11 von 18 Komplikationen). Bei oxidkeramisch basierten Kronen und Brücken sind Abplatzungen der Verblendkeramik am häufigsten (44 von 62 Komplikationen).

Ad 3.

Die Randqualität von Restaurationen, die mit RelyX Unicem (3M Espe) eingesetzt wurden, war zu 98% über den gesamten Beobachtungszeitraum einwandfrei bis akzeptabel. Ein Qualitätsverlust am Rand konnte neben dem Befestigungsmaterial auch dem Restaurationsmaterial (Ausbruch von Keramik in 3 von 10 Fällen) zugerechnet werden. Inlays hatten seltener eine einwandfreie Randintegrität (Alfa=89%) als Einzelkronen (Alfa=95%) und Brückenpfeiler (Alfa=93%).

Ad 4

An mit RelyX Unicem (3M Espe) befestigten Restaurationen konnten intraindividuell keine Veränderungen der gingivalen und parodontalen Gesundheit beobachtet werden. Es wurde dabei der - generell bekannte - Einfluss der Lage des Restaurationsrandes (Tendenz subgingival) auf die Blutungsneigung (Tendenz höher) und die Sondierungstiefe (Tendenz höher) am restaurierten Zahn festgestellt.

### **5.2 Resümee für die klinische Anwendung**

Unter Berücksichtigung der Limitationen dieser Studie und im Zusammenhang mit den diskutierten Vergleichsdaten zeigt das selbstadhäsive Befestigungskomposit RelyX Unicem (3M Espe) eine besondere Leistungsfähigkeit beim Einsetzen oxidkeramisch basierter Kronen und Brückenkonstruktionen. Es ist nur bedingt leistungsfähig für silikatkeramische Frontzahnkronen, insbesondere durch mittelfristig zu erwartende Mängel bei deren Randintegrität. Für Inlays empfiehlt sich an Stelle eines selbst-adhäsiven Befestigungsmaterials hinsichtlich langfristig stabiler ästhetischer und funktioneller Kriterien das „voll-adhäsive“ Einsetzen – also mit Konditionierung, Adhäsiv und Befestigungskomposit. Für Teilkronen und silikatkeramische Brücken ließen die ausgewerteten Daten keine Aussage zur Leistungsfähigkeit zu.

## 6. Literaturverzeichnis

1. 3MEspe (2004) *Selbstadhäsiver universaler Composite-Befestigungszemten RelyX Unicem: Technisches Produktprofil*, in *Internet*. 3M ESPE AG: Seefeld. p. 48.
2. Abduo, J., K. Lyons, and M. Swain (2010) *Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review*. *J Oral Rehabil* 37 (11): p. 866-76. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2010.02113.x
3. Al-Amleh, B., K. Lyons, and M. Swain (2010) *Clinical trials in zirconia: a systematic review*. *J Oral Rehabil* 37 (8): p. 641-52. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2010.02094.x
4. Ames, W. (1892) *A new oxyphosphate for crown seating*. *Dent Cosmos* 34: p. 392-3.
5. Atali, P.Y., O. Cakmakcioglu, B. Topbasi, C. Turkmen, and O. Suslen (2011) *IPS Empress onlays luted with two dual-cured resin cements for endodontically treated teeth: a 3-year clinical evaluation*. *Int J Prosthodont* 24 (1): p. 40-2.
6. Ates, S.M. and Z. Yesil Duymus (2016) *Influence of Tooth Preparation Design on Fitting Accuracy of CAD-CAM Based Restorations*. *J Esthet Restor Dent*. DOI: 10.1111/jerd.12208
7. Axmann, D., G. Gomez, and M. Groten (2002) *Der Bland und Altman Plot - eine einfache graphische Methode zur Schätzung der Verlässlichkeit von Messverfahren*. *Dtsch Zahnärztl Z* 57 (10): p. 613-616.
8. Azevedo, C.G., M.F. De Goes, G.M. Ambrosano, and D.C. Chan (2012) *1-Year clinical study of indirect resin composite restorations luted with a self-adhesive resin cement: effect of enamel etching*. *Braz Dent J* 23 (2): p. 97-103.
9. Baader, K., K.A. Hiller, W. Buchalla, G. Schmalz, and M. Federlin (2016) *Self-adhesive Luting of Partial Ceramic Crowns: Selective Enamel Etching Leads to Higher Survival after 6.5 Years In Vivo*. *J Adhes Dent* 18 (1): p. 69-79. DOI: 10.3290/j.jad.a35549
10. Bagis, B., Y.H. Bagis, and U. Hasanreisoglu (2011) *Bonding effectiveness of a self-adhesive resin-based luting cement to dentin after provisional cement contamination*. *J Adhes Dent* 13 (6): p. 543-50. DOI: 10.3290/j.jad.a19811
11. Baltzer, A. (2008) *All-ceramic single-tooth restorations: choosing the material to match the preparation--preparing the tooth to match the material*. *Int J Comput Dent* 11 (3-4): p. 241-56.
12. Behr, M., M. Hansmann, M. Rosentritt, and G. Handel (2009) *Marginal adaptation of three self-adhesive resin cements vs. a well-tried adhesive luting agent*. *Clin Oral Investig* 13 (4): p. 459-64. DOI: 10.1007/s00784-009-0255-7
13. Behr, M., M. Rosentritt, J. Wimmer, R. Lang, C. Kolbeck, R. Burgers, and G. Handel (2009) *Self-adhesive resin cement versus zinc phosphate luting material: a prospective clinical trial begun 2003*. *Dent Mater* 25 (5): p. 601-4. DOI: 10.1016/j.dental.2008.11.003

14. Bindl, A., H. Luthy, and W.H. Mormann (2006) *Strength and fracture pattern of monolithic CAD/CAM-generated posterior crowns*. Dent Mater 22 (1): p. 29-36. DOI: 10.1016/j.dental.2005.02.007
15. Bland, J.M. and D.G. Altman (1999) *Measuring agreement in method comparison studies*. Stat Methods Med Res 8 (2): p. 135-60.
16. Blatz, M.B., F.K. Mante, N. Saleh, A.M. Atlas, S. Mannan, and F. Ozer (2013) *Postoperative tooth sensitivity with a new self-adhesive resin cement--a randomized clinical trial*. Clin Oral Investig 17 (3): p. 793-8. DOI: 10.1007/s00784-012-0775-4
17. Burke, F.J., R.J. Crisp, and B. Richter (2006) *A practice-based evaluation of the handling of a new self-adhesive universal resin luting material*. Int Dent J 56 (3): p. 142-6.
18. Burke, F.J., G.J. Fleming, D. Nathanson, and P.M. Marquis (2002) *Are adhesive technologies needed to support ceramics? An assessment of the current evidence*. J Adhes Dent 4 (1): p. 7-22.
19. Collares, K., M.B. Correa, M. Laske, E. Kramer, B. Reiss, R.R. Moraes, M.C. Huysmans, and N.J. Opdam (2016) *A practice-based research network on the survival of ceramic inlay/onlay restorations*. Dent Mater 32 (5): p. 687-94. DOI: 10.1016/j.dental.2016.02.006
20. Craig, R.G. (1989) *Restorative dental materials*. 8th ed., St. Louis: Mosby.
21. Craig, R.G. (2002) *Restorative dental materials*. 11th ed., St. Louis: Mosby.
22. Crisp, R.J., A.J. Cowan, J. Lamb, O. Thompson, N. Tulloch, and F.J. Burke (2012) *A clinical evaluation of all-ceramic bridges placed in patients attending UK general dental practices: three-year results*. Dent Mater 28 (3): p. 229-36. DOI: 10.1016/j.dental.2010.12.004
23. Cvar, J.F. and G. Ryge (2005) *Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971*. Clin Oral Investig 9 (4): p. 215-32. DOI: 10.1007/s00784-005-0018-z
24. de la Macorra, J.C. and G. Pradies (2002) *Conventional and adhesive luting cements*. Clin Oral Investig 6 (4): p. 198-204. DOI: 10.1007/s00784-002-0184-1
25. De Munck, J., M. Vargas, K. Van Landuyt, K. Hikita, P. Lambrechts, and B. Van Meerbeek (2004) *Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin*. Dent Mater 20 (10): p. 963-71. DOI: 10.1016/j.dental.2004.03.002
26. de Souza Costa, C.A., J. Hebling, and R.C. Randall (2006) *Human pulp response to resin cements used to bond inlay restorations*. Dent Mater 22 (10): p. 954-62. DOI: 10.1016/j.dental.2005.10.007
27. Diaz-Arnold, A.M., M.A. Vargas, and D.R. Haselton (1999) *Current status of luting agents for fixed prosthodontics*. J Prosthet Dent 81 (2): p. 135-41.
28. Dogan, D.O., O. Gorler, B. Mutaf, M. Ozcan, G.B. Eyuboglu, and M. Ulgey (2015) *Fracture Resistance of Molar Crowns Fabricated with Monolithic All-Ceramic CAD/CAM Materials Cemented on Titanium Abutments: An In Vitro Study*. J Prosthodont. DOI: 10.1111/jopr.12393

29. Donovan, T.E. and G.C. Cho (1999) *Contemporary evaluation of dental cements*. *Compend Contin Educ Dent* 20 (3): p. 197-9, 202-8, 210 passim; quiz 220.
30. Dukic, W., O.L. Dukic, S. Milardovic, and B. Delija (2010) *Clinical evaluation of indirect composite restorations at baseline and 36 months after placement*. *Oper Dent* 35 (2): p. 156-64. DOI: 10.2341/09-133-C
31. Edelhoff, D. (2015) *Vollkeramische Restaurationen*. *wissen kompakt* 9 (4): p. 149-162. DOI: 10.1007/s11838-015-0015-2
32. Edelhoff, D. and M. Ozcan (2007) *To what extent does the longevity of fixed dental prostheses depend on the function of the cement? Working Group 4 materials: cementation*. *Clin Oral Implants Res* 18 Suppl 3: p. 193-204. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2007.01442.x
33. Edelhoff, D. and J.A. Sorensen (2002) *Tooth structure removal associated with various preparation designs for anterior teeth*. *J Prosthet Dent* 87 (5): p. 503-9.
34. Elsaka, S.E. and A.M. Elnaghy (2016) *Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic*. *Dent Mater* 32 (7): p. 908-14. DOI: 10.1016/j.dental.2016.03.013
35. Eßer, A.C. (2014) *Einfluss der Bearbeitung keramischer Verblendmaterialien für Zirkoniumdioxidkonstruktionen auf die biaxiale Festigkeit*, Dissertation, *Medizinische Fakultät*. Eberhard Karls Universität Tübingen: Tuebingen. p. 177.
36. Fabbri, G., F. Zarone, G. Dellificorelli, G. Cannistraro, M. De Lorenzi, A. Mosca, and R. Sorrentino (2014) *Clinical evaluation of 860 anterior and posterior lithium disilicate restorations: retrospective study with a mean follow-up of 3 years and a maximum observational period of 6 years*. *Int J Periodontics Restorative Dent* 34 (2): p. 165-77. DOI: 10.11607/prd.1769
37. Federlin, M., K.A. Hiller, and G. Schmalz (2014) *Effect of selective enamel etching on clinical performance of CAD/CAM partial ceramic crowns luted with a self-adhesive resin cement*. *Clin Oral Investig* 18 (8): p. 1975-84. DOI: 10.1007/s00784-013-1173-2
38. Frankenberger, R., V.E. Hartmann, M. Krech, N. Kramer, S. Reich, A. Braun, and M. Roggendorf (2015) *Adhesive luting of new CAD/CAM materials*. *Int J Comput Dent* 18 (1): p. 9-20.
39. Frankenberger, R. and M. Kern (2003) *Dentin adhesives create a positive bond to dental hard tissue*. *Int J Comput Dent* 6 (2): p. 187-92.
40. Frankenberger, R., N. Kramer, and A. Petschelt (2000) *Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation*. *Oper Dent* 25 (4): p. 324-30.
41. Frankenberger, R., U. Lohbauer, M. Taschner, A. Petschelt, and S.A. Nikolaenko (2007) *Adhesive luting revisited: influence of adhesive, temporary cement, cavity cleaning, and curing mode on internal dentin bond strength*. *J Adhes Dent* 9 Suppl 2: p. 269-73.
42. Frankenberger, R., C. Reinelt, A. Petschelt, and N. Kramer (2009) *Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays*. *Dent Mater* 25 (8): p. 960-8. DOI: 10.1016/j.dental.2009.02.002

43. Frankenberger, R., M. Taschner, F. Garcia-Godoy, A. Petschelt, and N. Kramer (2008) *Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years*. J Adhes Dent 10 (5): p. 393-8.
44. Fron Chabouis, H., V. Smail Faugeron, and J.P. Attal (2013) *Clinical efficacy of composite versus ceramic inlays and onlays: a systematic review*. Dent Mater 29 (12): p. 1209-18. DOI: 10.1016/j.dental.2013.09.009
45. Galiatsatos, A.A. and D. Bergou (2008) *Six-year clinical evaluation of ceramic inlays and onlays*. Quintessence Int 39 (5): p. 407-12.
46. Gherlone, E., F. Mandelli, P. Cappare, G. Pantaleo, T. Traini, and F. Ferrini (2014) *A 3 years retrospective study of survival for zirconia-based single crowns fabricated from intraoral digital impressions*. J Dent 42 (9): p. 1151-5. DOI: 10.1016/j.jdent.2014.06.002
47. Gobel, R., R. Musil, D. Welker, and F. Liebetau (1992) *[Experimental studies of electroplating-resin bonding systems]*. Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 80 (7-8): p. 404-7.
48. Goldammer, C. (2012) *Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Biegefestigkeit von verblendetem Zirkoniumdioxid*, Dissertation, Medizinische Fakultät. Eberhard Karls Universität Tübingen: Tuebingen. p. 137.
49. Groten, M., D. Axmann, L. Probst, and H. Weber (2000) *Determination of the minimum number of marginal gap measurements required for practical in-vitro testing*. J Prosthet Dent 83 (1): p. 40-9.
50. Groten, M. and F. Huttig (2010) *The performance of zirconium dioxide crowns: a clinical follow-up*. Int J Prosthodont 23 (5): p. 429-31.
51. Guarda, G.B., A.B. Correr, L.S. Goncalves, A.R. Costa, G.A. Borges, M.A. Sinhoreti, and L. Correr-Sobrinho (2013) *Effects of surface treatments, thermocycling, and cyclic loading on the bond strength of a resin cement bonded to a lithium disilicate glass ceramic*. Oper Dent 38 (2): p. 208-17. DOI: 10.2341/11-076-L
52. Guarda, G.B., L.S. Goncalves, A.B. Correr, R.R. Moraes, M.A. Sinhoreti, and L. Correr-Sobrinho (2010) *Luting glass ceramic restorations using a self-adhesive resin cement under different dentin conditions*. J Appl Oral Sci 18 (3): p. 244-8.
53. Guess, P.C., S. Schultheis, E.A. Bonfante, P.G. Coelho, J.L. Ferencz, and N.R. Silva (2011) *All-ceramic systems: laboratory and clinical performance*. Dent Clin North Am 55 (2): p. 333-52, ix. DOI: 10.1016/j.cden.2011.01.005
54. Ha, S.R. (2015) *Biomechanical three-dimensional finite element analysis of monolithic zirconia crown with different cement type*. J Adv Prosthodont 7 (6): p. 475-83. DOI: 10.4047/jap.2015.7.6.475
55. Hattar, S., M.M. Hatamleh, F. Sawair, and M. Al-Rabab'ah (2015) *Bond strength of self-adhesive resin cements to tooth structure*. Saudi Dent J 27 (2): p. 70-4. DOI: 10.1016/j.sdentj.2014.11.006
56. Hickel, R., J.F. Roulet, S. Bayne, S.D. Heintze, I.A. Mjor, M. Peters, V. Rousson, R. Randall, G. Schmalz, M. Tyas, and G. Vanherle (2007) *Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental*



- restorative materials*. Clin Oral Investig 11 (1): p. 5-33. DOI: 10.1007/s00784-006-0095-7
57. Hikita, K., B. Van Meerbeek, J. De Munck, T. Ikeda, K. Van Landuyt, T. Maida, P. Lambrechts, and M. Peumans (2007) *Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin*. Dent Mater 23 (1): p. 71-80. DOI: 10.1016/j.dental.2005.12.002
  58. Hill, E.E. (2007) *Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations*. Dent Clin North Am 51 (3): p. 643-58, vi. DOI: 10.1016/j.cden.2007.04.002
  59. Hill, E.E. and J. Lott (2011) *A clinically focused discussion of luting materials*. Aust Dent J 56 Suppl 1: p. 67-76. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2010.01297.x
  60. Huettig, F. and F. Behrend (2016) *Clinical Teaching of Prosthodontics in Undergraduate Courses in a German Dental School: Patients, Visits, Efforts, and Incentives*. J Dent Educ 80 (1): p. 40-50.
  61. Huettig, F. and U.P. Gehrke (2016) *Early complications and performance of 327 heat-pressed lithium disilicate crowns up to five years*. J Adv Prosthodont 8 (3): p. 194-200. DOI: 10.4047/jap.2016.8.3.194
  62. Huettig, F., A. Prutscher, C. Goldammer, C.A. Kreutzer, and H. Weber (2016) *First clinical experiences with CAD/CAM-fabricated PMMA-based fixed dental prostheses as long-term temporaries*. Clin Oral Investig 20 (1): p. 161-8. DOI: 10.1007/s00784-015-1475-7
  63. Jordan, A.R. and W. Micheelis (2016) *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)* 1ed. Materialienreihe des Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag. 617.
  64. Kaplan, E.L. and P. Meier (1958) *Nonparametric Estimation from Incomplete Observations*. Journal of the American Statistical Association 53 (282): p. 457-481. DOI: 10.1080/01621459.1958.10501452
  65. Kern, M. (2015) *Bonding to oxide ceramics-laboratory testing versus clinical outcome*. Dent Mater 31 (1): p. 8-14. DOI: 10.1016/j.dental.2014.06.007
  66. Kern, M. and T. Kerschbaum (2007) *Adhäsivbrücken: Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde*. Dtsch Zahnärztl Z 62 (09): p. 141-148.
  67. Kern, M., R.J. Kohal, A. Mehl, P. Pospiech, R. Frankenberger, B. Reiss, K. Wiedhahn, and K.H. Kunzelmann (2012) *Vollkeramik auf einen Blick*. Vol. 5. Ettlingen: AG Keramik. 95.
  68. Kerschbaum, T. (1986) *[Long-term prognosis of crowns and bridges today]*. Zahnärztl Mitt 76 (20): p. 2315-20.
  69. Klink, A. and F. Huettig (2013) *Complication and survival of Mark II restorations: 4-year clinical follow-up*. Int J Prosthodont 26 (3): p. 272-6. DOI: 10.11607/ijp.3287
  70. Klink, A. and F. Huettig (2016) *The challenge of erosion and minimally invasive rehabilitation of dentitions with BEWE grade 4*. Quintessence Int 47 (5): p. 365-72. DOI: 10.3290/j.qi.a35262
  71. Klink, A. and F. Huttig (2016) *Zirconia-Based Anterior Resin-Bonded Single-Retainer Cantilever Fixed Dental Prostheses: A 15- to 61-Month Follow-Up*. Int J Prosthodont 29 (3): p. 284-6. DOI: 10.11607/ijp.4220

72. Koenig, V., A.J. Vanheusden, S.O. Le Goff, and A.K. Mainjot (2013) *Clinical risk factors related to failures with zirconia-based restorations: an up to 9-year retrospective study*. J Dent 41 (12): p. 1164-74. DOI: 10.1016/j.jdent.2013.10.009
73. Kramer, N., U. Lohbauer, and R. Frankenberger (2000) *Adhesive luting of indirect restorations*. Am J Dent 13 (Spec No): p. 60D-76D.
74. Kumbuloglu, O., L.V. Lassila, A. User, S. Toksavul, and P.K. Vallittu (2005) *Shear bond strength of composite resin cements to lithium disilicate ceramics*. J Oral Rehabil 32 (2): p. 128-33. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2004.01400.x
75. Lad, P.P., M. Kamath, K. Tarale, and P.B. Kusugal (2014) *Practical clinical considerations of luting cements: A review*. J Int Oral Health 6 (1): p. 116-20.
76. Ladha, K. and M. Verma (2010) *Conventional and contemporary luting cements: an overview*. J Indian Prosthodont Soc 10 (2): p. 79-88. DOI: 10.1007/s13191-010-0022-0
77. Land, M.F. and C.D. Hopp (2010) *Survival rates of all-ceramic systems differ by clinical indication and fabrication method*. J Evid Based Dent Pract 10 (1): p. 37-8. DOI: 10.1016/j.jebdp.2009.11.013
78. Lehmann, F. and M. Kern (2009) *Durability of resin bonding to zirconia ceramic using different primers*. J Adhes Dent 11 (6): p. 479-83. DOI: 10.3290/j.jad.a18142
79. Luthardt, R., J. Tinschert, P. Pospiech, S. Reich, and M. Kern (2008) *Vollkeramische Restaurationen: Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde*, in <https://www.dgpro.de/sites/default/files/uploads/vollkeramik.pdf>, D.G.f.P.Z.u. Biomaterialien, Editor.
80. Luthra, R. and P. Kaur (2016) *An insight into current concepts and techniques in resin bonding to high strength ceramics*. Aust Dent J 61 (2): p. 163-73. DOI: 10.1111/adj.12365
81. Magne, P. and W.H. Douglas (1999) *Additive contour of porcelain veneers: a key element in enamel preservation, adhesion, and esthetics for aging dentition*. J Adhes Dent 1 (1): p. 81-92.
82. Manicone, P.F., P. Rossi Iommetti, and L. Raffaelli (2007) *An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications*. J Dent 35 (11): p. 819-26. DOI: 10.1016/j.jdent.2007.07.008
83. Marcondes, M., N. Souza, F.B. Manfroij, L.H. Burnett, Jr., and A.M. Spohr (2016) *Clinical Evaluation of Indirect Composite Resin Restorations Cemented with Different Resin Cements*. J Adhes Dent 18 (1): p. 59-67. DOI: 10.3290/j.jad.a35519
84. McLean, J.W. and J.A. von Fraunhofer (1971) *The estimation of cement film thickness by an in vivo technique*. Br Dent J 131 (3): p. 107-11.
85. Meyer, G., S. Ahsbahs, M. Kern, M.O. Ahlers, J. Beck, K. Bartsch, K. Christelsohn, B. Reiss, and F. Beuer (2014) *S3-Leitlinie: Vollkeramische Kronen und Brücken*, in <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-012.html>, M.-u.K. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Editor. AWMF: Internet.

86. Miyazaki, T., T. Nakamura, H. Matsumura, S. Ban, and T. Kobayashi (2013) *Current status of zirconia restoration*. J Prosthodont Res 57 (4): p. 236-61. DOI: 10.1016/j.jpor.2013.09.001
87. Morimoto, S., F.B. Rebello de Sampaio, M.M. Braga, N. Sesma, and M. Ozcan (2016) *Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis*. J Dent Res 95 (9): p. 985-94. DOI: 10.1177/0022034516652848
88. Musil, R. and H.J. Tiller (1988) *Der Kunststoff-Metall-Verbund in der zahnärztlichen Prothetik*. VEB Johann Ambrosius Barth.
89. Naranjo, J., M. Ali, and D. Belles (2015) *Comparison of shear bond strength of self-etch and self-adhesive cements bonded to lithium disilicate, enamel and dentin*. Tex Dent J 132 (11): p. 914-21.
90. Nemane, V., R.S. Akulwar, and S. Meshram (2015) *The Effect of Various Finish Line Configurations on the Marginal Seal and Occlusal Discrepancy of Cast Full Crowns After Cementation - An In-vitro Study*. J Clin Diagn Res 9 (8): p. ZC18-21. DOI: 10.7860/JCDR/2015/12574.6283
91. O'Brien, W. (2002) *Dental materials and their selection*. 3rd ed.: Quintessence.
92. Padbury, A., Jr., R. Eber, and H.L. Wang (2003) *Interactions between the gingiva and the margin of restorations*. J Clin Periodontol 30 (5): p. 379-85.
93. Pameijer, C.H. and K. Nilner (1994) *Long term clinical evaluation of three luting materials*. Swed Dent J 18 (1-2): p. 59-67.
94. Perry, R.D., G. Kugel, S. Sharma, S. Ferreira, and B. Magnuson (2012) *Two-year evaluation indicates zirconia bridges acceptable alternative to PFMs*. Compend Contin Educ Dent 33 (1): p. e1-5.
95. Peumans, M., J. De Munck, K. Van Landuyt, A. Poitevin, P. Lambrechts, and B. Van Meerbeek (2010) *Two-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays*. J Adhes Dent 12 (2): p. 151-61. DOI: 10.3290/j.jad.a17547
96. Peumans, M., M. Voet, J. De Munck, K. Van Landuyt, A. Van Ende, and B. Van Meerbeek (2013) *Four-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays*. Clin Oral Investig 17 (3): p. 739-50. DOI: 10.1007/s00784-012-0762-9
97. Pieger, S., A. Salman, and A.S. Bidra (2014) *Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review*. J Prosthet Dent 112 (1): p. 22-30. DOI: 10.1016/j.prosdent.2014.01.005
98. Piwowarczyk, A., R. Bender, P. Ottl, and H.C. Lauer (2007) *Long-term bond between dual-polymerizing cementing agents and human hard dental tissue*. Dent Mater 23 (2): p. 211-7. DOI: 10.1016/j.dental.2006.01.012
99. Piwowarczyk, A. and H.C. Lauer (2003) *Mechanical properties of luting cements after water storage*. Oper Dent 28 (5): p. 535-42.
100. Piwowarczyk, A., H.C. Lauer, and J.A. Sorensen (2004) *In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthodontic restorative materials*. J Prosthet Dent 92 (3): p. 265-73. DOI: 10.1016/S002239130400424X

101. Piwowarczyk, A., K. Schick, and H.C. Lauer (2012) *Metal-ceramic crowns cemented with two luting agents: short-term results of a prospective clinical study*. Clin Oral Investig 16 (3): p. 917-22. DOI: 10.1007/s00784-011-0580-5
102. Pjetursson, B.E., I. Sailer, N.A. Makarov, M. Zwahlen, and D.S. Thoma (2015) *All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs*. Dent Mater 31 (6): p. 624-39. DOI: 10.1016/j.dental.2015.02.013
103. Polat, S., F. Cebe, A. Tuncdemir, C. Ozturk, and A. Usumez (2015) *Evaluation of the bond strength between aged composite cores and luting agent*. J Adv Prosthodont 7 (2): p. 108-14. DOI: 10.4047/jap.2015.7.2.108
104. Pospiech, P. (2002) *All-ceramic crowns: bonding or cementing?* Clin Oral Investig 6 (4): p. 189-97. DOI: 10.1007/s00784-002-0183-2
105. Preis, V., M. Behr, S. Hahnel, and M. Rosentritt (2015) *Influence of cementation on in vitro performance, marginal adaptation and fracture resistance of CAD/CAM-fabricated ZLS molar crowns*. Dent Mater 31 (11): p. 1363-9. DOI: 10.1016/j.dental.2015.08.154
106. Probst, L. and J. Setz (1989) *Parallel soldered pins for improved macromechanical retention of adhesive fixed partial dentures--procedures and clinical experiences*. Quintessence Int 20 (12): p. 871-8.
107. Radovic, I., F. Monticelli, C. Goracci, Z.R. Vulicevic, and M. Ferrari (2008) *Self-adhesive resin cements: a literature review*. J Adhes Dent 10 (4): p. 251-8.
108. Raigrodski, A.J., M.B. Hillstead, G.K. Meng, and K.H. Chung (2012) *Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: a systematic review*. J Prosthet Dent 107 (3): p. 170-7. DOI: 10.1016/S0022-3913(12)60051-1
109. Raigrodski, A.J., A. Yu, G.J. Chiche, J.L. Hochstedler, L.A. Mancl, and S.E. Mohamed (2012) *Clinical efficacy of veneered zirconium dioxide-based posterior partial fixed dental prostheses: five-year results*. J Prosthet Dent 108 (4): p. 214-22. DOI: 10.1016/S0022-3913(12)60165-6
110. Reich, S.M., M. Wichmann, H. Rinne, and A. Shortall (2004) *Clinical performance of large, all-ceramic CAD/CAM-generated restorations after three years: a pilot study*. J Am Dent Assoc 135 (5): p. 605-12.
111. Reissmann, D.R., T. Hacker, D. Farhan, and G. Heydecke (2013) *The Burdens in Prosthetic Dentistry Questionnaire (BiPD-Q): development and validation of a patient-based measure for process-related quality of care in prosthetic dentistry*. Int J Prosthodont 26 (3): p. 250-9. DOI: 10.11607/ijp.3266
112. Rinke, S., K. Kramer, R. Burgers, and M. Roediger (2016) *A practice-based clinical evaluation of the survival and success of metal-ceramic and zirconia molar crowns: 5-year results*. J Oral Rehabil 43 (2): p. 136-44. DOI: 10.1111/joor.12348
113. Rinke, S., K. Lange, M. Roediger, and N. Gersdorff (2015) *Risk factors for technical and biological complications with zirconia single crowns*.

- Clin Oral Investig 19 (8): p. 1999-2006. DOI: 10.1007/s00784-015-1410-y
114. Rosenstiel, S.F., M.F. Land, and B.J. Crispin (1998) *Dental luting agents: A review of the current literature*. J Prosthet Dent 80 (3): p. 280-301.
115. Rosentritt, M., M. Behr, R. Lang, and G. Handel (2004) *Influence of cement type on the marginal adaptation of all-ceramic MOD inlays*. Dent Mater 20 (5): p. 463-9. DOI: 10.1016/j.dental.2003.05.004
116. Roulet, J.F. (1994) *Marginal integrity: clinical significance*. J Dent 22 Suppl 1: p. S9-12.
117. Roulet, J.F. (2007) *Vollkeramiken: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung, Wertung*. Quintessenz Zahntech 33 (1): p. 46-60.
118. Ryge, G. (1980) *Clinical criteria*. Int Dent J 30 (4): p. 347-58.
119. Saad Del, D., O. Atta, and O. El-Mowafy (2010) *The postoperative sensitivity of fixed partial dentures cemented with self-adhesive resin cements: a clinical study*. J Am Dent Assoc 141 (12): p. 1459-66.
120. Said, F.M. (2015) *Leistungsfähigkeit von Einzelkronen und Brücken auf Basis des Zirkoniumoxids IPS e.max-ZirCAD im mittelfristigen klinischen Verlauf*, in *Medizinische Fakultät Eberhard Karls Universität Tübingen*: Tübingen. p. 118.
121. Sailer, I., N.A. Makarov, D.S. Thoma, M. Zwahlen, and B.E. Pjetursson (2015) *All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs)*. Dent Mater 31 (6): p. 603-23. DOI: 10.1016/j.dental.2015.02.011
122. Sakallioğlu, E.E., M. Lutfioğlu, U. Sakallioğlu, G.K. Ceylan, F. Pamuk, F.O. Dede, and D. Dede (2015) *Gingival crevicular fluid levels of neuropeptides following dental restorations*. J Appl Biomater Funct Mater 13 (2): p. e186-93. DOI: 10.5301/jabfm.5000197
123. Santos, M.J., M.C. Freitas, L.M. Azevedo, G.C. Santos, Jr., M.F. Navarro, C.E. Francischone, and R.F. Mondelli (2016) *Clinical evaluation of ceramic inlays and onlays fabricated with two systems: 12-year follow-up*. Clin Oral Investig 20 (7): p. 1683-90. DOI: 10.1007/s00784-015-1669-z
124. Santos, M.O., F.L. do Amaral, F.M. Franca, and R.T. Basting (2015) *Influence of translucence/opacity and shade in the flexural strength of lithium disilicate ceramics*. J Conserv Dent 18 (5): p. 394-8. DOI: 10.4103/0972-0707.164053
125. Schley, J.S., N. Heussen, S. Reich, J. Fischer, K. Haselhuhn, and S. Wolfart (2010) *Survival probability of zirconia-based fixed dental prostheses up to 5 yr: a systematic review of the literature*. Eur J Oral Sci 118 (5): p. 443-50. DOI: 10.1111/j.1600-0722.2010.00767.x
126. Schwartz, N.L., L.D. Whitsett, T.G. Berry, and J.L. Stewart (1970) *Unserviceable crowns and fixed partial dentures: life-span and causes for loss of serviceability*. J Am Dent Assoc 81 (6): p. 1395-401.
127. Schwass, D.R., K.M. Lyons, and D.G. Purton (2013) *How long will it last? The expected longevity of prosthodontic and restorative treatment*. N Z Dent J 109 (3): p. 98-105.

128. Selby, A. (1994) *Fixed prosthodontic failure. A review and discussion of important aspects.* Aust Dent J 39 (3): p. 150-6.
129. Shahin, R. and M. Kern (2010) *Effect of air-abrasion on the retention of zirconia ceramic crowns luted with different cements before and after artificial aging.* Dent Mater 26 (9): p. 922-8. DOI: 10.1016/j.dental.2010.06.006
130. Sindel, J., R. Frankenberger, N. Kramer, and A. Petschelt (1999) *Crack formation of all-ceramic crowns dependent on different core build-up and luting materials.* J Dent 27 (3): p. 175-81.
131. Smith, D.C. (1983) *Dental cements. Current status and future prospects.* Dent Clin North Am 27 (4): p. 763-92.
132. Taschner, M., R. Frankenberger, F. Garcia-Godoy, S. Rosenbusch, A. Petschelt, and N. Kramer (2009) *IPS Empress inlays luted with a self-adhesive resin cement after 1 year.* Am J Dent 22 (1): p. 55-9.
133. Taschner, M., N. Kramer, U. Lohbauer, M. Pelka, L. Breschi, A. Petschelt, and R. Frankenberger (2012) *Leucite-reinforced glass ceramic inlays luted with self-adhesive resin cement: a 2-year in vivo study.* Dent Mater 28 (5): p. 535-40. DOI: 10.1016/j.dental.2011.12.002
134. Tian, T., J.K. Tsoi, J.P. Matinlinna, and M.F. Burrow (2014) *Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials.* Dent Mater 30 (7): p. e147-62. DOI: 10.1016/j.dental.2014.01.017
135. Tjan, A.H. and T. Li (1992) *Seating and retention of complete crowns with a new adhesive resin cement.* J Prosthet Dent 67 (4): p. 478-83.
136. Trajtenberg, C.P., S.J. Caram, and S. Kiat-amnuay (2008) *Microleakage of all-ceramic crowns using self-etching resin luting agents.* Oper Dent 33 (4): p. 392-9. DOI: 10.2341/07-101
137. Uludag, B., E. Yucedag, and V. Sahin (2014) *Microleakage of inlay ceramic systems luted with self-adhesive resin cements.* J Adhes Dent 16 (6): p. 523-9. DOI: 10.3290/j.jad.a32811
138. van den Breemer, C.R., M.M. Gresnigt, and M.S. Cune (2015) *Cementation of Glass-Ceramic Posterior Restorations: A Systematic Review.* Biomed Res Int 2015: p. 148954. DOI: 10.1155/2015/148954
139. Van Meerbeek, B., J. De Munck, Y. Yoshida, S. Inoue, M. Vargas, P. Vijay, K. Van Landuyt, P. Lambrechts, and G. Vanherle (2003) *Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges.* Oper Dent 28 (3): p. 215-35.
140. Van Meerbeek, B., K. Van Landuyt, J. De Munck, M. Hashimoto, M. Peumans, P. Lambrechts, Y. Yoshida, S. Inoue, and K. Suzuki (2005) *Technique-sensitivity of contemporary adhesives.* Dent Mater J 24 (1): p. 1-13.
141. Vanderlei, A., S.P. Passos, M. Ozcan, M.A. Bottino, and L.F. Valandro (2013) *Durability of adhesion between feldspathic ceramic and resin cements: effect of adhesive resin, polymerization mode of resin cement, and aging.* J Prosthodont 22 (3): p. 196-202. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2012.00934.x
142. Vrochari, A.D., G. Eliades, E. Hellwig, and K.T. Wrbas (2010) *Water sorption and solubility of four self-etching, self-adhesive resin luting agents.* J Adhes Dent 12 (1): p. 39-43. DOI: 10.3290/j.jad.a17539

143. Walton, J.N., F.M. Gardner, and J.R. Agar (1986) *A survey of crown and fixed partial denture failures: length of service and reasons for replacement*. J Prosthet Dent 56 (4): p. 416-21.
144. Weiser, F. and M. Behr (2015) *Self-adhesive resin cements: a clinical review*. J Prosthodont 24 (2): p. 100-8. DOI: 10.1111/jopr.12192
145. Wilson, A. and J. Nicholson (1993) *Acid-base cements, their biomedical and industrial applications*. New York: Cambridge University Press. 383.
146. Yoshida, Y., K. Nagakane, R. Fukuda, Y. Nakayama, M. Okazaki, H. Shintani, S. Inoue, Y. Tagawa, K. Suzuki, J. De Munck, and B. Van Meerbeek (2004) *Comparative study on adhesive performance of functional monomers*. J Dent Res 83 (6): p. 454-8.
147. Zahran, M., O. El-Mowafy, L. Tam, P.A. Watson, and Y. Finer (2008) *Fracture strength and fatigue resistance of all-ceramic molar crowns manufactured with CAD/CAM technology*. J Prosthodont 17 (5): p. 370-7. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2008.00305.x

## **7. Erklärungen zum Eigenanteil**

Die Arbeit wurde in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Tübingen / Eberhard-Karls-Universität Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. Heiner Weber durchgeführt. Zusätzlich stand mir zu jeder Zeit Oberarzt Dr. Fabian Hüttig bei aufkommenden Fragen und Diskussionen zur Seite.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Oberarzt Dr. Fabian Hüttig, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik mit Propädeutik.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch Oberarzt Dr. Fabian Hüttig und nach dessen Anleitung durch mich.

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

Zur orthographischen und dialektischen Korrektur der Finalversion dieser Arbeit danke ich meinem Bruder, Herrn Dr. Marcus Allgöwer sowie Frau Jasmin Köbele.

Die Datenrecherche sowie die komplette Dateneingabe in das Statistik-Programm JMP erfolgte durch mich. Sämtliche damit erzeugten Abbildungen, Zeichnungen und Tabellen wurden von mir selber erstellt und modifiziert.

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

Tübingen, den 05.04.2017



### **Danksagung**

Zu allererst bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Heiner Weber für die Überlassung des Dissertationsthemas und für seine Unterstützung während der Promotionsphase. Insbesondere für den Zugang und die Möglichkeit in der Poliklinik zu forschen und deren Ressourcen nutzen zu können. Hierzu danke ich auch den Zahnarzhelferinnen und Verwaltungsdamen der Anmeldung, welche mir notwendige Akten freundlichst und stets schnell sowie problemlos zur Verfügung stellten.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Oberarzt Dr. Fabian Hüttig, der mir jederzeit bei sämtlichen Problemen hilfreich zur Seite stand und mich in die Nutzung des Qualitätssicherungsregisters „Vollkeramik“ einführte sowie fortwährend unterstützte. Sein Einsatz rund um die Uhr und sein offenes Ohr sind nicht selbstverständlich.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern Margarete und Martin für die Ermöglichung meines Studiums und der Promotion und für die außerordentliche Unterstützung dabei! Ohne euch hätte ich vieles nicht erreicht. Und natürlich meinem Bruder, der mir in der Praxis den Rücken freigehalten hat.