
Klinische Bewährung von Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst im Vergleich zu monolithischen Kronen und Brücken aus Lithiumdisilikat nach 7 Jahren Beobachtungsdauer

Anna Maria Schmidt



München 2018

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Ludwigs-
Maximilians-Universität München

Direktor: Professor Dr. med. dent. Daniel Edelhoff

**Klinische Bewährung von Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst im Vergleich zu
monolithischen Kronen und Brücken aus Lithiumdisilikat nach 7 Jahren
Beobachtungsdauer**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Anna Maria Schmidt

aus Regensburg

2018

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Florian Beuer MME

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Nicoleta Ilie

Prof. Dr. Jürgen Durner

Mitbetreuung durch den

promovierten Mitarbeiter: Dr. Kurt-Jürgen Erdelt

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 11.10.2018

Meinem Vater in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
2. Literaturübersicht	10
2.1. Vollkeramik in der Zahnmedizin	10
2.1.1. Dentalkeramische Systeme	12
2.1.2. Silikatkeramiken	13
2.1.2.1. Glaskeramiken	15
2.1.2.2. Feldspatkeramiken	16
2.1.3. Hybrid- und Verbundkeramik	17
2.1.4. Oxidkeramiken	18
2.1.4.1. Infiltrationskeramiken	19
2.1.4.2. Polykristalline, Oxidkeramiken, Hochleistungskeramiken.....	20
2.2. Zirkonoxid	20
2.2.1. Problematiken der vollkeramischen Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst.....	24
2.2.1.1. Verblendfrakturen	25
2.2.1.2. Ursachen und Faktoren der Verblendfrakturen	25
2.2.2. Faktoren zur Beeinflussung der Belastbarkeit von Zirkonoxid	27
2.2.3. Lösungsansätze durch neue Systeme	28
2.2.3.1. Sinterverbundtechnik (CAD-ON Technik)	29
2.2.3.2. Monolithische Zirkoniumdioxidrestaurationen.....	33
2.3. Neueste Erkenntnisse	35
2.3.1. Dentinkerntechnologie.....	36
2.3.2. Monolithische Lithiumdisilikatrestaurationen	38
3. Material und Methode	41
3.1. Überblick	41
3.1.1. Testgruppe 1: Restaurationen mit handgeschichteter Verblendkeramik auf Zirkonoxidgerüsten (IPS e.max ZirCAD + IPS e.max Ceram)	42
3.1.2. Testgruppe 2: Monolithische Restaurationen aus Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max CAD)	42
3.2. Patientenauswahl	43
3.3. Präprothetische Vorbereitungsmaßnahmen und Eingliederung der Restaurationen	44
3.4. Nachuntersuchungen	47

3.4.1. Untersuchungskriterien.....	48
3.4.1.1. Biologische Parameter.....	48
3.4.1.2. Technische Parameter.....	51
3.4.1.3. Abformung und Modellherstellung.....	54
3.4.1.4. Rasterelektronenmikroskopaufnahmen und Dokumentationsfotos.....	55
3.5. Auswertung & Statistik.....	58
4. Ergebnisse.....	59
4.1. Plaqueakkumulation an den Restaurationen und Referenzzähnen.....	60
4.2. Einfluss der Restaurationen auf Gingiva und Pulpa.....	62
4.3. Materialermüdung und –verschleiß.....	66
4.4. Lage der Restaurationsgrenze.....	69
4.5. Verblendfrakturen.....	70
4.5.1. Klinische Untersuchung der Verblendfrakturen.....	70
4.5.2. Beurteilung der Dokumentationsfotos durch zwei Untersucher.....	73
4.5.3. Beurteilung der REM-Aufnahmen durch zwei Untersucher.....	74
4.5.4. Übereinstimmung der Bewertung der Dokumentationsfotos und der REM-Aufnahmen.....	76
4.6. Oberflächenqualität der Restaurationen.....	77
4.6.1. Klinische Bewertung der Oberflächenqualität.....	77
4.6.2. Beurteilung der Dokumentationsfotos durch zwei Untersucher.....	78
4.6.3. Beurteilung der REM-Proben durch zwei Untersucher.....	79
4.6.4. Übereinstimmung der Bewertung der Dokumentationsfotos und der REM-Aufnahmen.....	81
4.7. Marginale Randqualität und Sekundärkariesanfälligkeit.....	82
4.8. Ästhetische Farbanpassung und Integration.....	83
5. Diskussion.....	85
5.1. Material und Methode.....	85
5.1.1. Patientenklientel.....	85
5.1.2. Studienaufbau.....	86
5.2. Ergebnisse.....	88
5.2.1. Biologische Parameter.....	88
5.2.2. Technische Parameter.....	91

6. Zusammenfassung	102
7. Literaturverzeichnis.....	103
8. Anhang	112
9. Danksagung	116
10. Eidesstattliche Versicherung	117
11. Lebenslauf.....	118

1. Einleitung

In einer Zeit, in der ausgeprägtes ästhetisches Bewusstsein und ein Verlangen nach jugendlichem Aussehen immer wichtiger werden, sind dentalkeramische Werkstoffe aus der modernen Zahnmedizin nicht mehr wegzudenken. Seit den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat eine stille Revolution stattgefunden und die Metallzeit in der Zahnheilkunde hat ihren Zenit überschritten. [1] Unter dem Aspekt des natürlichen Aussehens und der Biokompatibilität sind vollkeramische Materialien heute die erste Wahl und Zahnärzte und Zahntechniker verstehen es, Restaurationen zu schaffen, die dem natürlichen Vorbild sehr nahe kommen. [1, 2] Mit dem technologischen Fortschritt und neuen Fertigungsverfahren wurden die keramischen Materialien fortlaufend weiterentwickelt und somit steht inzwischen für jede Indikation ein adäquates Material zur Verfügung. Schon in der vergangenen Dekade haben sich computergestützte Verfahren in der restaurativen Zahnheilkunde etabliert und ermöglichen eine Automatisierung des Produktionsprozesses und Herstellungsverfahrens, die sowohl die Qualität der Restaurationen verbessern als auch den Workflow erleichtern. [3, 4, 5, 2, 6] Dass die digital gesteuerten Verfahren in unterschiedlicher Auslegung in Zahnarztpraxen, Praxislaboren und Dentallaboren angekommen sind, belegt die Tatsache, dass 86 Prozent aller vollkeramischen Restaurationen in Deutschland mithilfe der CAD/CAM Technik hergestellt werden. [7] Unter dem Gesichtspunkt der aktuell gelehrt minimal-invasiven Vorgehensweise, dem Wunsch nach ästhetisch grazilen Restaurationen auch bei schwierigen Platzverhältnissen und besonders der Problematik des "Chippings" erhält das Testen neuer Methoden und Werkstoffe der Vollkeramik einen höheren Stellenwert. Für viel diskutierte Problematik der Verblendfrakturen werden in dieser klinischen Studie Restaurationen mit manuell geschichteten Verblendungen auf Zirkonoxidgerüsten nach im Mittel 7 Jahren in situ eingehend auf ihr Langzeitverhalten untersucht. Da monolithische, mit CAD/CAM geschliffene Lithiumdisilikat-Kronen in In-vitro Studien höhere Kaulasten ohne Frakturen kompensieren konnten und niedrigeres Ermüdungsverhalten zeigten, erscheint der Einsatz solcher verblendfreieren Versorgung, mit dennoch ästhetisch beachtlichem Spielraum, ein möglicher Lösungsansatz. [8, 9, 10, 1, 11, 12] Daher soll in der folgenden Arbeit eine weitere Testgruppe mit Restaurationen aus monolithischem Lithiumdisilikat mit gleicher Liegedauer gegenübergestellt

9 | EINLEITUNG

und verglichen werden. Einige Kriterien werden nach der klinischen Untersuchung zusätzlich durch zwei unterschiedlich erfahrene Zahnärzte anhand von Dokumentationsfotos und Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen beurteilt. Dadurch werden Rückschlüsse auf die Objektivität und Reliabilität der Beurteilung in klinischen Studien durch einzelne Behandler und die Effizienz verschiedener Hilfsmittel zur Diagnostikverstärkung möglich.

2. Literaturübersicht

2.1. Vollkeramik in der Zahnmedizin

Der klinische Einsatz vollkeramischer Systeme im Bereich der Kronen- und Brückenprothetik ist inzwischen wegen ihrer vielen Vorteile weit verbreitet. Es ist möglich geworden, Restaurationen aus Keramik zu schaffen, die dem natürlichen Vorbild in Form, Oberfläche, Farbe, Transparenz und Transluzenz in nichts nachstehen. [2] Keramiken sind abrasionsfest, haben lichtleitende und lichtbrechende Eigenschaften, sind sehr farbbeständig und ermöglichen einen unsichtbaren Übergang des Restaurationsrandes in die unbeschiffene Zahnhartsubstanz. [2] Die Werkstoffe sind durch ihr geringes toxisches und allergenes Potential biologisch sehr verträglich, da sie durch ihr chemisch inertes Verhalten unter den Bedingungen der Mundhöhle nicht in Lösung gehen und neutral zu anderen Versorgungsmaterialien im Mund sind. [2, 13] Neben ihrer hohen Biokompatibilität ist auch die bessere Ästhetik ein entscheidender Grund für die zunehmende Beliebtheit von Keramiken. Die Farbe und Lichtdurchlässigkeit der verschiedenen Werkstoffe sind hierbei verantwortlich für das ästhetische Restorationsergebnis. [2] Zusätzlich trugen das dem Schmelz ähnliche thermische Ausdehnungsverhalten sowie eine verringerte Plaqueakkumulation zum vermehrten Einsatz vollkeramischer Kronen und Brücken bei. [14, 4, 15, 16, 17, 2] Nicht nur Zahnärzte und Zahntechniker bezeichnen die Keramik als nicht mehr wegzudenkenden Werkstoff, der das Gold zunehmend ablöst, sondern auch Patienten schätzen die ästhetischen Vorzüge vollkeramischer Restaurationen.[15, 18]

Die Geschichte der Dentalkeramiken zeigt, wie die Werkstoffe im Lauf der Jahre hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften und Verarbeitungstechniken optimiert wurden, um hoch präzise und langlebige Restaurationen herstellen zu können. Bereits im Jahre 1896 entwickelte Charles Henry Land die erste Vollkeramikkrone, die sogenannte Jacketkrone. [19, 20, 21] Um diese anzufertigen, wurde Feldkeramik auf einen mit Platinfolie geschützten Stumpf aufgebrannt.[22] Die Forderung nach Bioverträglichkeit, hoher Ästhetik und Röntgentransluzenz wurden erfüllt und somit wurde diese Methode Jahrzehnte lang als Mittel der Wahl für vollkeramische Versorgungen verwendet. Leider führten die Jacketkronen nach *Hahn und Löst* [23] aufgrund der geringen Festigkeit und hohen Frakturanfälligkeit, wofür die Sprödigkeit und

die verwendeten Zemente verantwortlich gemacht wurden, zu häufigen klinischen Versagen. Dies limitierte ihren Einsatzbereich deutlich und beschränkte ihre Indikation vorwiegend auf das Frontzahngelände. Als 1962 metallkeramische Systeme schließlich das Problem der Bruchanfälligkeit behoben und damit einen größeren Einsatzbereich für zahnfarbene Versorgungen ermöglichten, wurde die Jacketkrone von diesen neueren Methoden abgelöst. [18, 19, 24, 25, 26, 27] Einen neuen Aufschwung erlebte vollkeramischer Zahnersatz in den 1970er Jahren, als sich die gießfähige Glaskeramik Dicor (DeTrey Dentsply, Konstanz) etablierte, der es als erster gelang mit Hilfe von Fluor-Phlogopit Kristallen deutlich höhere Festigkeitseigenschaften in der Glaskeramik zu erzielen und der heute noch eine historische Bedeutung zugemessen wird. [28] In den 80er Jahren entwickelte Sadoun das Verfahren zur Herstellung von Infiltrationskeramiken mit Aluminiumoxid (InCeram). Zur selben Zeit entwickelte Wohlwend die Empress Silikatkeramik, welche durch ihre Transluzenz hohe ästhetische Ergebnisse erzielte. Die Zirkonoxid-Keramik [3] entwickelte Garvie durch die Beimischung von Yttriumoxid. [29, 30] Durch die Entwicklung vollkeramischer Verbundsysteme und die Modifikationen dentaler Keramiken war es möglich, einen hochfesten keramischen Gerüstwerkstoff mit einem keramischen Verblendwerkstoff mit höheren ästhetischen Eigenschaften zu verbinden. [31, 21, 26] Ein breiteres Indikationsspektrum für vollkeramischen Zahnersatz wurde vor allem durch Zirkonoxid- und Aluminiumoxid-Keramiken ermöglicht, da sie die Stabilität moderner Keramiken erheblich steigern. Dadurch beschränkt sich heute der Einsatzbereich längst nicht mehr auf Frontzahnkronen, sondern erweitert die Indikation von (Hochleistung-) Keramiken auf Seitenzahnkronen, Inlays, Onlays, Veneers, Implantatabutements, Brückenkonstruktionen, Primärteleskope und anderen Geschiebe. [31, 32, 33] Es stehen verschiedene keramische Materialklassen für unterschiedliche Indikationen zur Auswahl. [34] Es sollte allerdings darauf hingewiesen werden, dass sich die Bestandteile der Materialien innerhalb einer Materialklasse herstellerabhängig unterscheiden, was zu klinisch relevanten Auswirkungen in der Ergebnisqualität führen kann, ohne dass dies differenziert in den Studien abgebildet wurde. [34]

2.1.1. Dentalkeramische Systeme

Unter dem Begriff „Keramik“ fasst man im weitesten Sinne alle anorganischen und nichtmetallischen Werkstoffe zusammen, die in Wasser schwer löslich und zu einem großen Teil oder ganz kristalline Werkstoffe bzw. Stoffgemische sind. [2, 35] Diese werden durch Sinterungsprozesse hergestellt, in dessen Verlauf ein poröser Formkörper in einen dichten Festkörper unter Zunahme der mechanischen Festigkeit überführt wird. „Dentalkeramiken bestehen in der Regel aus einer amorphen, transparenten Glasphase, in die kristalline Partikel dispers verteilt eingelagert sind.“ [2] Die Stabilität der Keramik erhöht sich mit steigendem Kristallanteil, dem Verbund zwischen Glasmatrix und Kristallen, sowie Dichte und Homogenität der Partikelverteilung. Leider führt die Zunahme der Festigkeit zugleich zu ästhetischen Einbußen durch Verminderung der Transluzenz. [2] Es ergeben sich je nach Zusammensetzung unterschiedliche Einsatzbereiche der Keramiken.

Dentale Keramiken können nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden, wie zum Beispiel nach ihrem Anwendungsgebiet (z.B. Gerüstfreie-Keramik, Gerüstkeramik) oder nach dem Verarbeitungsprozess (Fräsen, Gießen, Sintern, Pressen). Am häufigsten erfolgt die Einteilung jedoch nach werkstoffkundlicher Zusammensetzung, da diese Rückschlüsse auf die Stabilität der entsprechenden Versorgung erlaubt. [35, 36]

Derzeit werden Dentalkeramiken und ihre Derivate in folgende Hauptgruppen unterteilt: Keramiken mit Glasphase (silikatische Glaskeramiken, glasinfiltrierte Keramiken), Keramiken ohne Glasphase (polykristallin) und Hybrid- und Verbundkeramiken mit Zusatz von Polymeren (Abbildung 2.1). [2] Silikatkeramiken besitzen durch ihr mehrphasiges Gefüge sowie ihren hohen Glasanteil besonders ästhetische Eigenschaften und lassen sich weiter in Feldspatkeramiken und Glaskeramiken unterteilen. Im Vergleich dazu stehen einphasige, hochfeste Oxidkeramiken, welche hauptsächlich im stark beanspruchten Seitenzahnbereich und als Gerüstwerkstoffe zum Einsatz kommen. Oxidkeramiken sind entweder polykristallin oder glasinfiltriert. [32, 21, 2, 35]

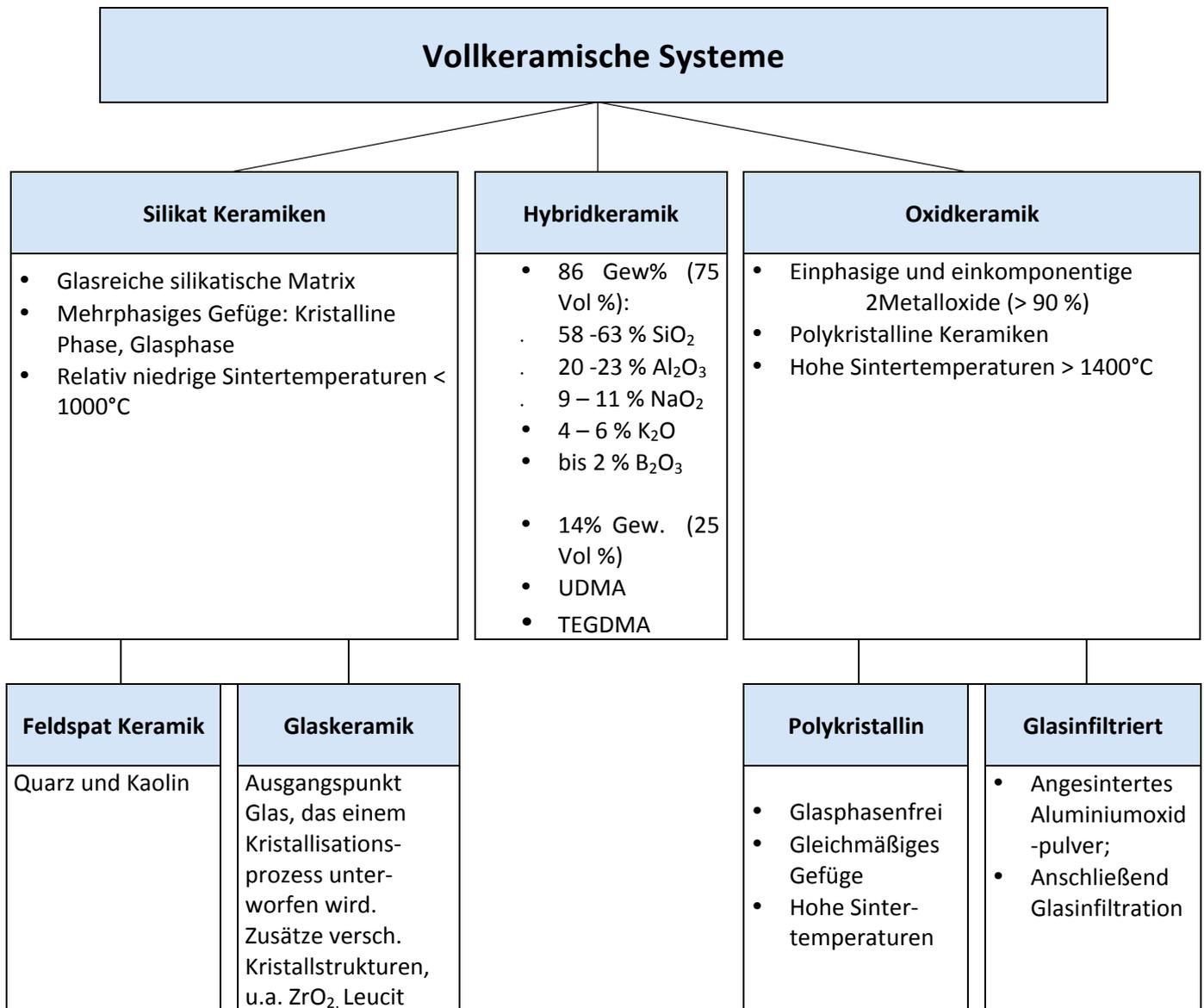


Abbildung 1: Darstellung der Vollkeramischen Systeme in Anlehnung an [2]

2.1.2. Silikatkeramiken

Silikatkeramiken sind lichtleitend, adaptieren die Umgebungsfarbe und bestehen aus einer Glasmatrix mit eingelagerten Kristallen. Sie können gepresst oder alternativ aus vorgefertigten Keramikblocks geätzt werden und verhalten sich beim Brennen dimensionsstabil. [34] Da mit

Silikatkeramiken hervorragende ästhetische Ergebnisse erzielt werden können, verwendet man sie zur Verblendung von Metall- oder Vollkeramikgerüsten und zur Herstellung vollkeramischer Einzelzahnrestorationen. [37, 38, 28] Weil der hohe Glasanteil zwar eine gesteigerte Ästhetik ermöglicht, aber gleichzeitig auch für die geringere mechanische Festigkeit im Vergleich zu Oxidkeramiken verantwortlich ist, ist ihr Einsatzbereich limitiert. [39, 38] Folglich sind ihre Indikationen auf Inlays, Onlays, Veneers, Teilkronen, Einzelkronen im Frontzahnbereich und Verblendkeramik beschränkt. Lithiumdisilikat, das eine gesteigerte Festigkeit mit einer Biegefestigkeit bis maximal 400 MPa besitzt [40, 34], und zirkonoxidmodifizierte Lithiumsilikatkeramik finden zusätzlich als Einzelkronen im Seitenzahnbereich und kleine dreigliedrige Brücken im Front- und Prämolarenbereich, implantatgetragene Kronen, Hybrid-Abutments, Hybrid-Abutmentkronen und okklusale Veneers Verwendung. [2] Vollkeramische Einzelkronen aus Silikatkeramiken (leuzitverstärkt) lieferten über einen Beobachtungszeitraum von 5 bzw. 11 Jahren im Frontzahnbereich eine Überlebensrate von 100% bzw. 98,9% und im Seitenzahnbereich eine Überlebensrate von 84,4%. [34] Bei Einzelkronen aus verblendeten Lithiumdisilikatkeramiken dagegen wurden bei einer Beobachtungsdauer von 5, 8 oder 10 Jahren Überlebensraten zwischen 93,8 und 96,8 % und bei Einzelkronen im Seitenzahnbereich sogar Überlebensraten von 95,8% festgestellt. [34] Die Zusammensetzung besteht aus Feldspat (60-80%), besonders Kalifeldspat zur Verfestigung durch Leuzitkristallbildung, Quarz (15-25%), der für die Transluzenz der Keramik verantwortlich ist, und Kaolin (0-1%) als eigentliche Grundsubstanz für Porzellan. [37, 21, 2] Die Opazität und Transluzenz lassen sich durch mineralische Zusätze gezielt steuern und ermöglichen somit die Nachahmung einer natürlichen Zahnfarbe. [2] Als charakteristisch bekannt für silikatkeramische Werkstoffe sind die glasig-amorphe Phase sowie eine ausgeprägte Porenstruktur. [39, 21, 33] Während der Herstellung entstehen Poren im Keramikgefüge und haben einen maßgeblichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Silikatkeramiken. Zusätzlich setzt sich der Werkstoff aus gleichen oder unterschiedlichen Kristallen zusammen, welche von einer Glasphase umgeben sind. Silikatkeramiken können weiter in Feldspatkeramiken und Glaskeramiken eingeteilt werden.

2.1.2.1. Glaskeramiken

Die Glasstruktur des hauptsächlich silikatischen Ursprungs der Glaskeramiken wird durch eine kontrollierte Kristallisation mit Füllkristallen durchsetzt, wobei ein gleichmäßiges, feinkristallines und porenfreies Gefüge erzielt wird. Ein geringerer Anteil Glasphase bleibt erhalten, während die amorphe Struktur teilweise auskristallisiert. [38, 28, 21] Zusätze wie Lithium sorgen für eine Verstärkung der Kristallstruktur und damit für optimierte physikalische Eigenschaften der Glaskeramik. [38, 32, 35] Die Biegefestigkeit von Lithiumdisilikatkeramiken ist, bei gleichzeitig sehr hohem ästhetischen Potential, mit ca. 350 MPa außergewöhnlich hoch. [41, 21] Bei Einzelkronen aus Lithiumdisilikat wurde durch neueste Studien eine 9-Jahres-Überlebensrate von bis zu 95% festgestellt. [42] Dieses Material stellt daher eine gute Alternative gegenüber herkömmlichen metallkeramischen Versorgungen dar. In anderen Studien wird sogar von einer 100%igen klinischen Erfolgsrate für Einzelkronen nach 5 Jahren berichtet, allerdings ist auffällig, dass hier für dreigliedrige Brückenkonstruktionen nur eine 50-70%ige Erfolgsrate gilt. [43, 44] Die Indikation reicht somit aufgrund der guten Festigkeitswerte von Inlays, Veneers, Teilkronen, Verblendstrukturen, über Einzelkronen im Seitenzahnbereich bis hin zu kleinen dreigliedrigen Brücken im Front- und Prämolarenbereich, allerdings sollten bei den Brückenkonstruktionen genau die Herstellerangaben und die klinische Situation beachtet werden. [21, 44] Solche Lithiumdisilikat-Keramiken können dank ihres hohen Glasanteils sehr gut mit Flußsäure geätzt werden und sowohl adhäsiv als auch konventionell Befestigung befestigt werden. [45, 41] Zusätzlich besitzen Glaskeramiken gute plaqueabweisende Eigenschaften und adaptieren sehr gut an Umgebungsfarben („Chamäleon-Effekt“). [15, 2, 35]

2.1.2.2. Feldspatkeramiken

Der größte Teil (>50%) der Feldspatkeramiken setzt sich aus einer amorphen Glasphase aus SiO_2 mit einem geringen Anteil an weiteren oxidischen Zusätzen zusammen, welche die Eigenschaften der dentalkeramischen Masse modifizieren. [35] Die Schmelz- und Erweichungstemperaturen werden durch Flussmittel wie Kaliumkarbonat, Natronkarbonat, Borax, Bleioxid, Kaliumphosphat, Kaliumoxid oder Magnesiumoxid erniedrigt. [38, 46] Zusätzlich ausschlaggebend für die mechanischen Eigenschaften sind Leuzitkristalle, die in die Glasmatrix eingebettet sind und insbesondere durch Kalifeldspat beim Sinterprozess induziert werden. [39, 21, 35] Ein erhöhter Leuzitgehalt wirkt festigkeitssteigernd, erzeugt aber gleichzeitig ein unästhetischeres, weißlich opakes Erscheinungsbild. Leuzitmodifizierte Keramik stellt eine Weiterentwicklung der Silikatkeramiken dar, die vor allem in der Metallkeramik verwendet wird. Um einen guten Verbund zwischen Metall und Keramik zu gewährleisten, muss besonders die Wärmeausdehnung beider Materialien beachtet werden. Eine ausreichende Stabilität der Verblendung und eine gute Metall-Keramik Haftung wird erreicht, wenn die Wärmedehnung von Keramik und Metall gut aufeinander abgestimmt sind. Es ist entscheidend, dass die Wärmedehnung der Keramik idealerweise gleich oder etwas niedriger ist als die des Metalls, da Keramiken grundsätzlich unter Druckspannungen stabiler sind als unter Zugspannungen. [38, 28] Falls eine Legierung einen höheren Wärmedehnbereich aufweist, ist es nötig die Wärmedehnung der Keramik anzupassen. Damit die Wärmedehnung passend zur Legierung deutlich zunimmt, müssen die Keramiken neben ihrer Glasphase mit einem definierten Zusatz von kristallinen Phasen dementsprechend verändert werden, um eine perfekte Anpassung an verschiedene Legierungen zu erreichen. Bei diesen Kristallphasen handelt es sich um Leuzit, das durch verschiedene Temperprozesse erzeugt werden kann. Leuzitkristalle bewirken zusätzlich eine stärkere Kontraktion während des Abkühlvorgangs als die Umgebung und bauen somit eine tangentielle Druckspannung auf, was zu einer Festigkeitssteigerung und einer Rissumleitung führt. Dadurch ist es möglich mit Leuzitkeramiken eine deutlich höhere Stabilität als mit herkömmlichen Silikatkeramiken zu erreichen. [38, 28, 21] Durch die Einführung des IPS Empress Systems der Firma Ivoclar entwickelte sich ein weiteres Anwendungsspektrum für leuzitverstärkte Keramiken, das sich inzwischen als Standardverfahren etabliert hat.

2.1.3. Hybrid- und Verbundkeramik

Die hervorragenden Eigenschaften von Glaskeramik werden in dieser Materialklasse mit denen von Kompositen vereint. Dabei soll ein gewisser Anteil an Kunststoffpartikeln die Sprödigkeit der Keramik positiv beeinflussen. Eine daraus resultierende, relativ niedrige Biegefestigkeit von 150 - 160 MPa lässt sich mittels adhäsiver Befestigung minimal erhöhen. Während sich Glaskeramik durch hohe Ästhetik, sehr gute Plaquesresistenz und dauerhaften Glanzerhalt auszeichnet, haben Komposite eine dentinähnliche Resilienz und Elastizitätsmodul. [2] Auf der Resin-Nanokeramik-Technologie basierend können mit der Verbundkeramik Lava Ultimate (3M ESPE AG, Seefeld) Versorgungen durch verschiedene Verarbeitungsmöglichkeiten hergestellt und adhäsiv befestigt werden. Hierfür wird besonders RelyX Ultimate und Scotchbond Universal Adhäsiv empfohlen. Lava Ultimate verhält sich trotz einer hohen initialen Biegefestigkeit von über 200 MPa äußerst schonend zum Antagonisten. [2] Als Mischung aus Komposit und ca. 80% Keramiknanoanteilen muss Lava Ultimate, vor dem adhäsiven Einsetzen unbedingt mit Aluminiumoxid (50 µm Korngröße) zur Oberflächenvergrößerung abgestrahlt werden um eine Mikroretention zu erreichen. In einer Stellungnahme der Firma 3M Espe Dental wurde im Mai 2015 aufgrund einer höher als erwarteten Dezementierungsrate von Kronen in den USA, die nicht den Qualitätsstandarts entspricht, freiwillig die Indikation für Kronen aus der Indikationsliste für Lava Ultimate Materialien zurückgenommen. [47] Als Grund werden hierfür allerdings auch Anwendungsfehler beim adhäsiven Einsetzen oder mögliche Vernachlässigung des Abstrahlungsvorgangs diskutiert. In- und Onlays sowie Teilkronen und Veneers aus Lava Ultimate Materialien können weiterhin eingesetzt werden und bleiben indiziert, allerdings ohne dass es dafür klinische Daten gibt. [47, 48]

Das Material ENAMIC (VITA Zahnfabrik) besteht zu 80% aus einem Keramiknetzwerk, das durch ein Acrylatpolymernetzwerk infiltriert wird, und erfährt vor dem adhäsiven Einsetzen die klassische Keramikvorbehandlung mit einer Oberflächenbehandlung mittels 5%iger Flusssäure. [49] Solche kunststoffbasierten Hybridmaterialien stellen eine spannende Entwicklung dar, allerdings fehlen klinische Untersuchungen und eine klare Positionierung der Fachgesellschaften, um die Indikationen zu finden und die Vorteile gegenüber anderen etablierten Werkstoffen klar herauszuarbeiten. Verglichen mit Goldstandartmaterialien wie

Lithiumdisilikat sind sie als experimentell einzustufen, worüber die Patienten informiert werden müssen. [48]

2.1.4. Oxidkeramiken

Bevor die Hochleistungskeramiken in den 90er Jahren in der Zahnmedizin eingeführt wurden, fanden sie in der Orthopädie bereits seit mehreren Jahrzehnten Anwendung und hatten sich zuerst in der Hüftgelenksimplantologie als Knochenersatzmaterial etabliert. [2, 50] Aufgrund der hohen initialen Festigkeit und Langzeitstabilität begann man vor einigen Jahren Zirkoniumdioxid auch in der Zahnprothetik für Kronen und Brücken zu verwenden. [2] Oxidkeramiken sind im Gegensatz zu Silikatkeramiken polykristalline Werkstoffe, bei denen entweder kein oder nur ein geringer Glasanteil enthalten ist und die kristalline Phase überwiegt. Sie sind einphasige, keramische Materialien, die aus Oxiden bestehen und besitzen ein dichtes, porenfreies Mikrogefüge mit sehr kleinen Korngrößen und nahezu keine Verunreinigungen. [51, 52, 2, 53, 35, 54] Zu ihren Hauptvertretern gehören Aluminiumoxid (Al_2O_3), Zirkoniumoxid (ZrO_2), Magnesiumoxid (MgO) und Spinell (MgAl_2O_4). [36] Charakteristisch für traditionelle Oxidkeramiken ist einerseits die extrem hohe Festigkeit, welche bei Aluminiumoxid ca. 700 MPa beträgt und bei Zirkoniumdioxidkeramik mit ca. 1300 MPa sogar zum Namen "keramischer Stahl" führte [55, 50, 56] und zweitens der fehlende Glasanteil. Dieser ist für das opake Erscheinungsbild verantwortlich und macht in den meisten Fällen eine Verblendung erforderlich. [49, 12, 20, 48]

2.1.4.1. Infiltrationskeramiken

Eine oft indizierte Zwischenstufe zwischen hochfesten Oxidkeramiken und Silikatkeramiken stellen Infiltrationskeramiken dar. Bei der Herstellung wird ein poröses, vorgesintertes und oxidisches Grundgerüst (zumeist Aluminiumoxid) mit Lanthanglas infiltriert. Dadurch wird eine Stabilitätssteigerung gegenüber gewöhnlichen Glaskeramiken erreicht, jedoch gleichzeitig eine mindere Transluzenz bewirkt. [57, 2, 58, 13, 36] Durch die poröse Struktur der Oxidkeramik kann die aufgetragene Glasschmelze das Gerüst gut durchdringen und bildet ein nahezu porenfreies Mikrogefüge aus. Aluminiuminfiltrierte Keramiken (InCeram Alumina) erreichen durch diesen Vorgang Festigkeitswerte von über 400 MPa und sind dadurch zur Herstellung von konventionell zementierten Front- und Seitenzahnkronen, als auch für Brückenrestorationen indiziert. [59, 34, 60, 61, 36] Durch eine Dotierung mit Zirkonoxid kann eine um ca. 33% höhere Festigkeit (650 MPa) erreicht werden, allerdings führt dies auch zu einer zunehmenden Opazität durch den höheren Brechungsindex. [59, 60, 61] Eine mit Zirkonoxid verstärkte, verblendete Aluminiumoxidkeramik mit Glasphase kann für die Herstellung von vollkeramischen 3-gliedrigen Brücken im Seitenzahnbereich empfohlen werden, da Studien eine 5-Jahres-Überlebensrate von 90% - 96,8% belegen. [62, 63, 34] Verblendete, unverstärkte Aluminiumoxidkeramik mit Glasphase lieferten bei 3-gliedrigen Brücken im Frontzahnbereich nach 10 Jahren Beobachtungszeit eine Überlebensrate von 82,9 % und können für diesen Bereich nur eingeschränkt empfohlen werden. [34, 64] Um die gewünschte anatomische Zahnform und Ästhetik zu erreichen, wird das Kerngerüst mit entsprechenden Verblendmassen beschichtet. Eine weitere Entwicklung der In-Ceram Keramik, die nicht unerwähnt bleiben soll, ist die Spinellkeramik, die sich aufgrund der geringeren Festigkeitswerte von etwa 350 MPa auf Frontzahnkronen beschränkt. [21, 56] Hierbei wird statt Aluminiumoxid der Doppelkristall Spinell, ein Magnesium-Aluminium Mischoxid ($MgAl_2O_4$), verwendet, der im Vergleich zu den stark opaken Aluminiumoxidmassen eine bessere optische Anpassung an Lanthanglas und dadurch eine deutlich höhere Transparenz aufweist. [65, 21]

2.1.4.2. Polykristalline, Oxidkeramiken, Hochleistungskeramiken

Seit computergestützte Verfahren mit zahntechnischer Konstruktions-Software und NC-gesteuerten Fräsaufmaschinen ihren Einzug in die Zahnmedizin fanden, wurde die Verarbeitung von polykristallinen Oxidkeramiken unter Verwendung industriell gefertigter, teilgesinterter Keramikblocks möglich. [41] Zu den polykristallinen Oxidkeramiken gehören das hochverdichtete Aluminiumoxid und Zirkonoxid, welche durch Zusätze aus Borid, Carbid, Nitrid, Silicid, Titan oder Yttrium veredelt werden, um extremste mechanische, thermische und korrosive Beanspruchungen aushalten zu können. [3, 55, 52, 2, 35] Die deutliche Verbesserung der Stabilität von polykristalliner Oxidkeramik ergibt sich aus der Erhöhung des Kristallanteils und dem vernachlässigbar geringen Glasanteil gegenüber Silikatkeramiken. Die somit erreichte hohe Biegefestigkeit des Werkstoffs von 900 bis 1.400 MPa macht dadurch auch dünne Wandstärken und somit substanzschonende Präparationen möglich. Zusätzlich ist für die Haftung der Verblendung auf dem Gerüst im Unterschied zu Verblendmetallkeramik keine Haftoxidschicht notwendig, deren potenziell toxisch wirkende Ionen zu gingivalen Entzündungen führen können. [66] Wegen der weißlichen Opazität kann die Oxidkeramik für perfekte Ästhetik, ähnlich wie beim Metallgerüst, aufbrennkeramisch verblendet werden und kann hervorragend als Gerüstwerkstoff verwendet werden. [2, 66] Im Vergleich zur Metallkeramik zeichnet sich Oxidkeramik jedoch dadurch aus, dass die weiß-opake Eigenfarbe prinzipiell eine dünnere Verblendung ermöglicht, da kein Opaker nötig ist um das Gerüst zu verbergen wie in der Metallkeramik. [66] Ein Vorteil der opaken Struktur der Oxidkeramiken ist, dass verfärbte Zahnstümpfe erfolgreich maskiert werden können. [2] Vor allem dem Zirkonoxid kommt in der Zahnmedizin ein hoher Stellenwert zu. [2, 35]

2.2. Zirkonoxid

Zirkonoxid findet man als Element in Gesteinen, entweder in Verbindung mit Siliziumdioxid als Zirkon ($Zr [SiO_4]$) oder als Baddeleyit (ZrO_2). [36] Dichtgesintertes Zirkonoxid ist eine chemisch unlösliche Verbindung mit ausgezeichneten mechanischen und optischen Eigenschaften, die

abhängig von der Rohstoffqualität, Rohstoffherstellung, den Sinterparametern und der maschinellen Bearbeitung sind. [3] Mit Yttriumoxid stabilisiertes Zirkonoxid besitzt eine extrem hohe Biegefestigkeit (900 – 1400 MPa) und eine Bruchzähigkeit von $5 - 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und ist auch im kaulasttragendem Seitenzahnbereich für Kronen- und Brückengerüste geeignet. [2] Mit diesen initialen Belastbarkeitswerten (1500 N) überschreiten Zirkonoxidkeramiken die physiologisch auftretenden Kaukräfte (250 – 500 N) bei weitem. [67]

Der fehlende Glasanteil und der damit verbundenen weiß-opaken Keramikstruktur macht trotz der Option, die Dentinfarbe und damit die Farbtiefe der Zahnhartsubstanz durch Kolorieren des Gerüsts zu imitieren, die Applikation einer Verblendmasse erforderlich und Zirkonoxidkeramiken werden primär als Gerüstwerkstoff verwendet. In dieser Form haben sie jedoch einen vielseitigen Einsatzbereich und es lassen sich mehrspannige Brückenkonstruktionen, Geschiebe, hybridprothetische Arbeiten sowie Implantataufbauten realisieren. [55] Zirkonoxid besitzt durch die hohen Festigkeitswerte auch das Potential in Zukunft metallische Primärkronen für Konusprothesen zu ersetzen. [2] Moderne Oxidkeramiken ermöglichen durch werkstoffliche Modifikation eine ansprechendere Ästhetik monolithischer, vollanatomischer Zirkonoxid-Kronen. [68, 66, 69] Transluzentere, neuentwickelte Zirkonoxidkeramik kann durch zahnfarbene Kolorierung für verblendfreie Kronen und Brücken, hauptsächlich im Seitenzahnbereich, eingesetzt werden. [2] Durch die Reduktion von Aluminiumoxid, erhöhte Sintertemperaturen oder längere Sinterzeiten sowie einer Einfärbung von Zirkonoxid-Rohlingen kann eine Semi-Transparenz erzeugt werden. Allerdings führen die Veränderungen der Sinterparameter zu einem Kornwachstum der Zirkonoxid-Kristalle und schwächen das Material zusätzlich. [3] Die Reduktion des Aluminiumoxid-Anteils, der für die Altersbeständigkeit zuständig ist, kann wiederum zu einer schnelleren Alterung des Materials und somit gegebenenfalls zu frühzeitigen Frakturen führen. [3] Der Zahnschubstanzabtrag bei der Präparation für vollanatomische, monolithische Kronen und Brücken kann gegenüber jener für eine Verblendrestauration auf Wandstärken bis 0,5mm reduziert werden. Für monolithische, unverblendete Kronen aus semi-transparenten Zirkoniumdioxid gibt es noch keine längerfristigen klinischen Studien zur Langzeitbewahrung. [2]

Bei seiner Herstellung durchläuft reines Zirkonoxid in seiner Abkühlungsphase aus der Schmelze bis zur Raumtemperatur 3 verschiedene kristallografische Veränderungen. [21, 2, 36] Der Schmelzpunkt von Zirkoniumdioxid wird bei 2.715°C festgelegt. Bei 2.715°C kristallisiert die kubische Phase, die sich bei Temperaturen unterhalb von 2370 °C in eine tetragonale Kristallstrukturform umwandelt. Eine weitere Absenkung der Temperatur unter 1163 °C führt zu einer monoklinen Phasenveränderung. [2] Von besonderer Bedeutung ist die von einer starken Volumenzunahme begleitete Phasenumwandlung tetragonal in monoklin, da es hier zu einer unerwünschten Volumenzunahme und einer damit verbundenen Rissbildung im Keramikgefüge kommen kann. [2, 35] Durch Zugabe von ca 5 Gewichtsprozent Yttriumoxid (Y₂O₃) oder 0,1 bis 1 Prozent Aluminiumoxid zur Verbesserung der Altersbeständigkeit des Materials, gelingt es allerdings die Volumenexpansion zu verhindern bzw. zu nutzen. [70, 30, 2, 35]

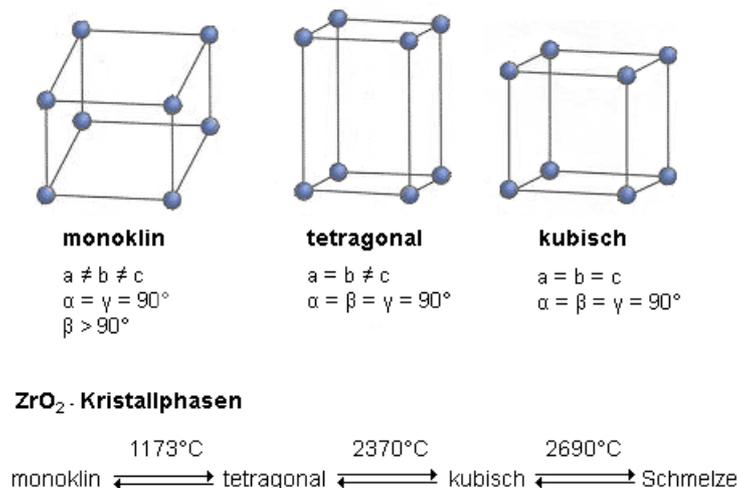


Abbildung 2: Darstellung der Phasenumwandlung von Zirkonoxid Quelle: Arbeitsgruppe Vollkeramik München [53]

Die **Phasenstabilisierung** unterscheidet 3 verschiedene Methoden: Beim vollständig stabilisierten Zirkonoxid (FSZ: Fully Stabilized Zirconia) wird die Umwandlung in die tetragonale bzw. monokline Struktur unterbunden und die kubische Form stabilisiert. [71, 35, 36] Im

Gegensatz dazu steht das teilstabilisierte Zirkonoxid (PSZ: Partially Stabilized Zirconia), welches ein nicht ausreichend stabilisierendes Oxid verwendet. Hierbei kann der Volumenzuwachs positiv zur Festigkeitssteigerung genutzt werden [39, 35, 36] und eine Phasenumwandlung in die tetragonale Kristallform bei Abkühlung ist möglich. [35] Tetragonale Zirkonoxidpolykristalle (TZP: Tetragonal Zirconia Polycrystals) machen sich den Vorteil zu Nutze, dass mit zunehmendem Gehalt an tetragonaler Kristallstruktur eine Stabilitätssteigerung einhergeht. [70, 32, 35, 36] Durch die Beimischung von 3 - 5 % Yttriumoxid (Y_2O_3) wird eine vollständige tetragonale Phase erreicht. Zusätzlich werden ca. 0,5 % Aluminiumoxid (Al_2O_3) hinzugefügt, wodurch die hydrothermale Alterung minimiert werden kann. Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid, das in den 70er-Jahren des vorigen Jahrhunderts von Garvie in Großbritannien entwickelt wurde, ist ausfolgendem Grund die in der Zahnmedizin meist verwendete Zirkonoxidform: [72, 55, 66] In jedem keramischen Werkstoff können herstellungsbedingt bereits Mikrorisse vorliegen oder sie entstehen während der Bearbeitung im zahntechnischen Labor oder später im Mund durch die zyklische Kaudruckbelastung. Durch den Mechanismus der Spannungsrissskorrosion wird das Risswachstum im wässrigen Mundmilieu zusätzlich beschleunigt. [2] Im Falle einer Rissbildung der Keramik gehen diese Kristalle an den Risspitzen von der tetragonalen, weniger voluminösen Kristallstruktur in die monokline Form über, so dass es an dieser Stelle zu einer Volumenzunahme von ca 5 Prozent kommt. [2] Die somit entstandene Druckspannung kann den Riss faktisch „zuklemmen“ (sog. Airbag-Effekt nach Pospiech) und den Risswachstum aufhalten, was zum Ergebnis der hervorragenden Langzeitstabilität und Bruchfestigkeit von Yttrium-stabilisiertem Zirkoniumdioxid führt. [2, 35, 36] Allerdings muss auch erwähnt werden, dass dieses Umwandlungsverhalten neben seinem Vorteil der Festigkeitssteigerung auch zu einer Empfindlichkeit auf Bearbeitungsfehler bei der zahntechnischen Nachbearbeitung der Gerüste führt. Ein zu hoher Anteil an monokliner Phase und Mikrorisse in der Gefügestruktur können einen negativen Effekt auf die Bruchzähigkeit der schleifbaren Oxidkeramikblöcke haben. [2]

Die dentalen Hochleistungskeramiken unterscheiden sich durch die Verarbeitung und den Herstellungsprozess, wobei dem Sinterprozess besondere Bedeutung zukommt. Bei diesem Vorgang werden die Gefügestrukturen und die Kristallbildungen beeinflusst und es entstehen mehr oder weniger gefügefehlerfreie und homogene Materialien. [2] Um den Zeitaufwand und

den Verschleiß gering zu halten, werden häufig die Restaurationen aus vorgesinterten Zirkoniumdioxidblöcke heraus gefräst. Diese als Weißkörper bezeichneten Rohlinge haben einen Verdichtungsgrad von 55-70 % und können leichter bearbeitet werden. [2, 56, 54] Nach einer subtraktiven Formgebung im Labor kann bei der anschließenden Sinterung mit einer Schwindung linear bis zu 20 % gerechnet werden, weshalb beim subtraktiven Ausfräsen eine überdimensionierte Ausarbeitung des Materials erfolgt. [2] Der Werkstoff schrumpft beim darauffolgenden Sintervorgang jedoch wieder auf Sollgröße. Durch die Sinterung können Risse und Oberflächendefekte, die durch den Fräsprozess entstehen, größtenteils wieder verschlossen und damit repariert werden. [2]

2.2.1. Problematiken der vollkeramischen Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst

Trotz der weitreichenden Erfolge vollkeramischer Restaurationen gegenüber den herkömmlichen metallkeramischen Versorgung, haben sich bei der Herstellung und Verarbeitung von keramischen Werkstoffen nach einer gewissen Anwendungsdauer verschiedene Probleme und Faktoren herauskristallisiert, die zu einer drastischen Abnahme oder Zunahme der Langzeitüberlebensrate führen können. Zur Vermeidung von klinischen Misserfolgen und werkstofflichen Komplikationen sind die Empfehlungen der Keramikhersteller genau zu beachten. Dies gilt besonders für die Hinweise auf Mindestwandstärken und Verbindungsquerschnitte, keramikgeeignete Präparation, das höckerunterstützende Gerüstdesign sowie empfohlene Befestigungstechnik. [2] In Studien sowie im Praxisalltag fällt aber auf, dass die manuell geschichteten Verblendungen auf ZrO_2 -Gerüsten bereits nach relativ kurzen klinischen Liegezeiten zu Abplatzungen neigen und so ist das sogenannte „Chipping“ bereits zu einem viel diskutierten Problem geworden. [2, 73] Bruxismus ist ebenfalls ein Risikofaktor für Keramik, bei dem das Ausweichen auf metallische Restaurationen in Erwägung gezogen werden sollte. Möglicherweise werden dann jedoch nicht die hohen ästhetischen Erwartungen des betreffenden Patienten erfüllt und vergleichsweise invasive Präparationen

nötig. [74] Im folgenden Text werden die Hauptprobleme vollkeramischer Restaurationen sowie deren Ursachen und Faktoren genauer erläutert.

2.2.1.1. Verblendfrakturen

In zahnmedizinischen Fachkreisen ist der Begriff "Chipping" inzwischen weitverbreitet und kann mit verschiedenen Worten umschrieben werden. Es ist möglich das Wort "Chipping" sowohl durch "abscheren", "abschilfern" oder "abschuppen" im Sinne einer Kohäsionsfraktur, als auch im Sinne einer Adhäsionsfraktur durch "abplatzen" zu übersetzen. [75] Partielle Abplatzungen bei Verblendkeramik auf Gerüsten aus Oxidkeramik kommen zwar gelegentlich vor, sie werden allerdings in aktuellen Diskussionen besonders mit Zirkonoxid in Verbindung gebracht. [2] Der Bruch kann als kohäsives Versagen innerhalb der Verblendkeramik (Chipping), als adhäsives Versagen durch Lösen der Verblendkeramik vom Gerüst oder als Mischform beider Versagensmöglichkeiten auftreten. Klinisch treten Verblendfrakturen daher mit und ohne Exposition des Gerüstmaterials auf. [1] Es ist auffallend, dass Gerüstfrakturen von ZrO_2 -Restaurationen kaum beobachtet werden. Mit Überlebensraten von 90 bis 100 % (nach Kaplan-Meier) liegen sie auf demselben Niveau, das auch metallgetragenen Rekonstruktionen zugeschrieben wird. [76] Ein wichtiger Aspekt ist die Feststellung, dass der Anteil von Verblendfrakturen auf Zirkonoxidgerüsten nicht höher ist als er auch auf Metallgerüsten nachgewiesen wurden, allerdings treten sie bei vollkeramischen Restaurationen nach relativ kurzen klinischen Liegezeiten auf. [2] Es gibt mehrere Ursachen und Vorgehensweisen, die die Wahrscheinlichkeit für Verblendfrakturen auf Zirkonoxidgerüsten in Praxis und Dentallabor erhöhen.

2.2.1.2. Ursachen und Faktoren der Verblendfrakturen

Anfänglich waren die Verblendfrakturen sicherlich größtenteils mit dem zwischen Gerüst- und Verblendwerkstoff unzureichend abgestimmten Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) begründet. [66] Während des Verblendungsprozesses ist darauf zu achten, dass durch schlecht

26 | URSACHEN UND FAKTOREN DER VERBLENDFRAKTUREN

abgestimmte Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) Spannungen und Verformungen des Gerüsts auftreten, welche das Frakturrisiko und die Abplatzwahrscheinlichkeit der Verblendung erhöhen. [62, 5, 12] Deshalb wird empfohlen, Gerüst- und Verblendmaterial vom selben Hersteller zu verwenden. [2] Hinzu kommt, dass Zirkonoxid eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt und bei der Hochtemperaturesinterung können dadurch Eigenspannungen in der Partikelstruktur entstehen. [1] Vor einiger Zeit hatten sehr dünne Gerüstwandstärken dazu geführt, dass die Verblendschichten mehr als 1,5 mm mit wechselnden, Zugspannung auslösenden Schichtstärken aufgetragen wurden. [74, 66] Es minimiert das Risiko des Abplatzens von Verblendanteilen, wenn eine gleichmäßige und definierte Schichtstärke der Verblendung erreicht wird. [55] Inzwischen ist bekannt, dass eine anatoforme Gerüstgestaltung und der Verzicht auf mesiale und distale Randleistenokklusionskontakte sowie gleichmäßig dicke Verblendstärken bis maximal 1,5 mm und eine Verlängerung der Abkühlungsphase nach jedem Brand zur Vermeidung von Strukturspannungen die Abplatzungswahrscheinlichkeit enorm minimieren können. [74, 2, 66] Eine ungenügende Abstützung der Verblendung durch zu steil gewinkelte Koronarflächen der Kronenkappe kann eine weitere Ursache für eine Verblendfraktur darstellen. Zirkonoxid weist eine extrem geringe Wärmeleitfähigkeit auf, wodurch beim Beschleifen mit rotierenden Instrumenten, besonders mit grobkörnigen Diamantschleifern, oder beim Abstrahlungsprozess leicht strukturelle Schäden der Keramik durch lokale Überhitzung entstehen können. [55, 77] Eine ständige Wasserkühlung ist somit unerlässlich. Auch fehlende Oberflächenpolitur oder kein Glanzbrands nach stärkerem intraoralen Einschleifen der Verblendung erhöht die Wahrscheinlichkeit von Chipping. [2] Wichtig erscheint auch in diesem Zusammenhang, dass das okklusale Funktionskonzept den Bedingungen der Keramik angepasst und eine suffiziente Front-Eckzahn-Führung etabliert wird, um Schleifkontakte bei exzentrischen Unterkieferbewegungen zu vermeiden. [66]

Eine weitere sehr wichtige Feststellung durch Studien ist, dass leuzitverstärkte Keramiken tendentiell zu weniger Chipping neigen als leuzitfreie. [78] Die Wahl der Verblendkeramik wirkt sich somit signifikant auf das Frakturverhalten und die Abrasion der Antagonisten aus. [78]

Jüngere Studien zeigen, dass unter Berücksichtigung dieser Faktoren die Verblendfrakturrate ZrO₂-basierter Kronen und Brücken deutlich gesunken ist und ein Niveau erreicht wurde, das

auch den Zwischenfällen von VMK-Versorgungen entspricht. [79, 66] Lediglich implantatgetragene Verblendkronen auf ZrO_2 -Gerüsten haben noch ein höheres Chipping-Risiko [19], was durch die fehlende Eigenbeweglichkeit der Implantate nach ossärer Einheilung sowie fehlende Propriozeptoren zu erklären ist. [1, 80, 66, 81]

2.2.2. Faktoren zur Beeinflussung der Belastbarkeit von Zirkonoxid

Neben dem viel diskutierten Auftreten von Verblendfrakturen im Zusammenhang mit Zirkonoxidgerüsten, können zahlreiche weitere Einflüsse im Rahmen des Herstellungsprozesses und auch im Milieu der Mundhöhle die Belastbarkeit vollkeramischen Zahnersatzes reduzieren. Zunächst sollten wie für alle keramischen Präparationen scharfe Kanten und Stufen vermieden werden, um so eine Rissentstehung zu verhindern. [3, 55] Außerdem ist es wichtig, die Mindestschichtstärke und einen minimalen Substanzabtrag von zirkulär 1 mm für die Gewährleistung einer stabilen Restauration einzuhalten, um eine gleichmäßige Verblendungsschichtstärke von 1,5 mm nicht zu überschreiten. [55, 82] Grundsätzlich sollte das Konstruktionsprinzip für Brücken und Kronen der anatomisch reduzierten Form der Zahnform folgen und die Höckerform unterstützen. [2] Bei der Querschnittsfläche der Verbinderstellen im Frontzahnbereich sollte mindestens 7mm^2 , bei mehrgliedrigen Brücken auch abhängig von der Anzahl der Zwischenglieder mindestens 9mm^2 angestrebt werden. Verbinderstellen im Seitenzahnbereich benötigen mindestens 9mm^2 Verbinderfläche und bei mehrgliedrigen Brücken sowie Freieinglieder ist eine zusätzliche Verstärkung der Konnektoren auf mindestens 12mm^2 erforderlich. Wenn Wand- und Verbinderstärken unterdimensioniert sind, ist der klinische Misserfolg durch den Ermüdungseffekt nach funktioneller Überlastung wahrscheinlich. [2] Fortschreitendes Risswachstum in der Keramikstruktur hat seinen Ursprung oftmals in der fehlerhaften Bearbeitung von Keramiken und ist somit vermeidbar. [83, 55] Nicht zu umgehen ist jedoch der Einfluss, den das Mundmilieu auf das Restaurationsmaterial ausübt. [84, 55] Das Risswachstum in diesem feuchtwarmen, korrosiven Umfeld wird durch den sogenannten Rebinder-Effekt beschleunigt. [55] Durch diesen Effekt wird durch in Mikrorisse eindringende

Flüssigkeiten ein Druck erzeugt, der zum weiteren Fortschreiten der Risse führt. [85] Die Reaktion von vorgeschädigten Kristallstrukturen mit Wassermolekülen ist als Spannungsrisskorrosion bekannt, welche die Energie, die zum Risswachstum nötig ist, verringern. [86] Wenn das Material zusätzlich mechanisch belastet wird, treten beide Effekte verstärkt auf. Eine weitere ungünstige Verhaltensweise von Zirkonoxid im wässrigen Milieu ist die sogenannte Degradation, die eine verstärkte Phasenumwandlung von der tetragonalen Kristallstruktur in die monokline Form begünstigt. Hierbei kommt es durch die Einlagerung von Hydroxylionen in Sauerstoffleerstellen im Keramikgefüge zu einer unerwünschten Volumenzunahme. [84, 55] Obwohl Kaukräfte normalerweise nicht eine sofortige Fraktur der Restauration bewirken, favorisieren sie ein unterkritisches Risswachstum, welches letztendlich dennoch einen klinischen Misserfolg des Materials wahrscheinlicher macht. [18] Die auftretenden Kräfte beim Kauvorgang treten in Zyklen von 60 – 120 pro Minute auf und betragen üblicherweise zwischen 250 – 500 N. [87] Bei einem Patienten mit Bruxismus sind sogar Kaukräfte über 1221 N möglich. [88, 55] Während des Essens von kalter und warmer Nahrung kann es zu thermischen Belastungen mit Temperaturunterschieden von 0°C bis 67°C kommen, was die Randschlussqualität durch thermisch induzierte Verformung beeinflussen kann. Die Folge ist möglicherweise ein verbreiteter, anfälligerer Zementspalt, der zusätzlich das Risiko einer Sekundärkaries erhöht. [39, 89, 90]

Das wässrige Mundmilieu, thermische Schwankungen und mechanische Beanspruchungen haben also einen großen Einfluss auf die Belastbarkeit des Zirkonoxids. [55] Bei viergliedrigen Brücken im Seitenzahnbereich wurde eine Reduktion der Belastbarkeit von bis zu 40% durch diese Faktoren festgestellt. [51] Zirkonoxid-Keramiken weisen jedoch eine initiale Belastbarkeit von 1500 N (gefordert 1000 N) und selbst nach dem Alterungsprozess noch ca. 900 N (gefordert 600 N) auf, und werden somit diesen Ansprüchen theoretisch problemlos gerecht. [55, 91, 92]

2.2.3. Lösungsansätze durch neue Systeme

Obwohl sich vollkeramische Restaurationen wegen der ausgezeichneten Ästhetik und Körperverträglichkeit bereits zunehmender Beliebtheit erfreuen, gilt es dennoch noch

vorhandene Schwächen und klinisches Versagen besonders durch Herstellungs- und Verarbeitungsfehler zu minimieren. Zirkonoxid hat sich zu einem universellen Restaurationswerkstoff entwickelt, insbesondere für den Einsatz im Seitenzahnbereich, und Expertenteams beschäftigen sich schon seit einigen Jahren mit der Reduzierung von den viel diskutierten Verblendfrakturen bei vollkeramischen Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst. Hohe ästhetische Erwartungen sowie erforderliche Schichtstärken in Zeiten der Minimalinvasivität als auch wirtschaftliche Gründe haben zu neuen Herstellungsmethoden von Kronen und Brücken geführt. Aber auch verblendfreie Monolithen sind durch stetige Weiterentwicklung der ästhetischen Eigenschaften inzwischen eine weitverbreitete Option, da mit der Senkung des Al_2O_3 -Anteils eine Semi-Transparenz erreicht werden kann und diese Restaurationsart kein Chipping kennt. Die exakte, identische Nachbildung natürlicher Zähne durch zeitsparende und kostengünstige Herstellung, die hohe Überlebensraten und Ästhetik als auch vermindertes Chipping ermöglichen, ist eine große Herausforderung.

2.2.3.1. Sinterverbundtechnik (CAD-ON Technik)

Mit dem Einsatz der Hochleistungskeramik wurde die CAD/CAM-Technik, die vorerst nur für kleinere Restaurationen chairside angewendet wurde, dann auch in zahntechnischen Laboren eingeführt wurde und inzwischen standartmäßig für die Gerütherstellung durchgeführt wird, zu einem in der Zahntechnik nicht mehr wegzudenkenden, technischen Fortschritt. [93] Mit der maschinellen Schleiftechnik können der Weibull-Modul der Oxidkeramik und somit die Zuverlässigkeit im Vergleich zu den im Schlickerverfahren hergestellten Gerüsten aus glasinfiltrierter Oxidkeramik, die große Streuungen und einen niedrigen Weibull-Modul aufwiesen, gesteigert werden. [94] Die computergestützte Fertigung war allerdings vorerst auf die Herstellung von Gerüststrukturen limitiert und die Verblendung aus Silikatkeramik musste per Handarbeit im Dentallabor erfolgen. Wie bereits oben beschrieben, ließ jedoch besonders der Sachverhalt um das klinische Versagen der Schichtverblendung durch Chipping dieses traditionelle Verfahren ineffizient erscheinen. [78, 94] Durch die vielfältigen Vorteile der CAD/CAM-Herstellungstechnik wäre also eine Kombination eines CAD/CAM- gefertigten

Gerüstes mit einer CAD/CAM-gefertigten Verblendung, am besten aus einer stabileren Keramik als traditionelle Verblendkeramiken, äußerst vielversprechend. Dem Expertenteam um Prof. Florian Beuer, Josef Schweiger und Marlis Eichberger an der Ludwig-Maximilians-Universität München ist es erstmalig gelungen, verblendeten Zahnersatz im reinen CAD/CAM-Verfahren herzustellen. [95, 94] Mit dem als „Sinterverbundtechnik“ (CAD-on Technik) bezeichneten hochinnovativen Verfahren ist es somit möglich, nicht nur die Gerüste, sondern auch die Verblendungen mittels CAD/CAM anzufertigen und anschließend miteinander zu verbinden. [95] Durch diese Möglichkeit ergeben sich viele Vorteile gegenüber den bisherigen Herstellungsverfahren.[93, 94]

Das Verfahren wurde an zwei verschiedenen CAD/CAM-Systemen in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Ludwig-Maximilians-Universität erprobt. [93] Die verwendeten Materialien können sowohl mit der Everest Anlage (KaVo Dental, Biberach/Riß) als auch mit dem inLab-Gerät (Sirona Dental Systems, Bensheim) beschliffen werden. [93] Nachdem das Gerüst mithilfe der Software unter gewissen Vorgaben konstruiert und danach aus der Oxidkeramik gefräst wurde, wird die auf dem Gerüst passend konstruierte Verblendung aus Lithiumdisilikat-Keramik ebenfalls mit der CAD/CAM Anlage angefertigt. Um den Aufwand und Verschleiß des Schleifprozesses möglichst gering zu halten, wird das Gerüst aus einem vorgesinterten Zirkoniumdioxid Block gefräst und danach einem Sinterbrand unterzogen, um seine endgültige Festigkeit und Form zu erreichen. Für eine exakte Passung der Verblendung auf dem Zirkonoxidgerüst ist es entscheidend, dass bei dem Konstruktionsvorgang die Sinterschrumpfung berücksichtigt wird. [96, 93, 94] Die Verblendstruktur wird aus einer vorkristallinen Phase aus einem Lithiumdisilikatblock hergestellt, die im Vergleich zum Gerüst aus Zirkonoxid bereits nach dem Schleifvorgang ihre endgültige Form besitzt und keinem weiteren Schrumpfungsprozess unterliegt. Wegen gut aufeinander abgestimmten Materialeigenschaften haben sich der Zirkonoxidwerkstoff IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent) und die Lithiumdisilikat Keramik IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent) gut bewährt und können empfohlen werden. [93, 94] Das Zusammenfügen der beiden Komponenten erfolgt während eines Sinterprozesses durch eine niedrig schmelzende Keramikmasse (Konnektor) in einem herkömmlichen Keramikofen. Dabei wird nicht nur das Gerüst mit der Verblendung mit Hilfe der

Konnektormasse versintert, sondern gleichzeitig auch die vorkristalline Verblendstruktur einem Kristallisationsbrand unterzogen. Dieses Vorgehen bewirkt einen innigen Verbund zwischen Konnektormasse, Gerüstkeramik und äußerer Verblendhülle, was sich positiv auf die Zuverlässigkeit von Verbundkeramik auswirken könnte. [93] Schließlich wird die Restauration mit einem Malfarben- und Glasurmassebrand fertiggestellt. [96, 93, 94]

Der Vorteil dieser innovativen Technik ist, dass das Verfahren in der Durchführung unkomplizierter und im Vergleich zur manuellen Schichttechnik deutlich zeitsparender ist. Durch diese Verringerung der Herstellungszeiten im reinen CAD/CAM-Verfahren im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen können somit auch die Herstellungskosten gesenkt werden, da der Anteil an manueller Tätigkeit des Zahntechnikers auf einen Bruchteil des sonst üblichen Zeitaufwandes minimiert werden kann. [93, 94]

Aus verschiedenen In-vitro-Untersuchungen geht hervor, dass dieses System eine signifikant höhere Festigkeit gegenüber manuell geschichteten Kronen besitzt. [96, 97] Während zum Beispiel bei manuell verblendeten Einzelzahnkronen im Seitenbereich ein Bruchwert von 3700 N festgestellt wurde, konnte bei Sinterverbundkronen im selben Einsatzbereich ein wesentlich höherer Bruchwert von 6262 N erreicht werden, wobei bei allen Restaurationen die Schichtstärke vergleichbar war. [95, 96] Wegen der erhöhten Eigenfestigkeit und Zuverlässigkeit der Sinterverbundkronen ist zudem davon auszugehen, dass auch geringere Schichtstärken immer noch eine ausreichende Festigkeit aufweisen. [66] Neben der Schonung der Zahnschicht bei minimalinvasiver Präparation und einer Reduktion von postprothetischen endodontischen Problemen, wäre bei Schichtstärken im Bereich der Schmelzstärken möglicherweise auch eine Befestigung der Kronen mittels Schmelzätzung zu verwirklichen. Damit könnte man den Verbund Zahn zu Krone ohne die Ausdehnung der Retentionsfläche deutlich erhöhen und hervorragende Ästhetik erzielen. [95] Im Allgemeinen ist die Ästhetik einer Sinterverbundkrone, die mit Schichtstärken nach den aktuell gültigen Richtlinien hergestellt wurde, im Vergleich zu Monoblockrestaurationen sicherlich gleichwertig, wenn nicht sogar als überlegen zu bewerten. Allerdings reicht das ästhetische Ergebnis noch nicht ganz an eine individuell vom Techniker geschichtete Verblendkrone heran. [93]

In einigen Studien wurde bereits belegt, dass "Chipping" durch das Sinterverbundsystem ebenfalls deutlich reduziert werden kann. [96, 97] Da es möglich ist, sowohl das Gerüst als auch die Verblendung aus industriell hergestellten Blöcken zu fertigen, konnte ein industrieller, kontrollierbarer Standard in der Herstellung mit jederzeit reproduzierbarer Qualität festgelegt werden. [96, 93] Innere Strukturdefekte, die ein potentieller Ausgangspunkt für Risse und damit für das klinische Versagen keramischer Restaurationen sind, entstehen bei diesem maschinellen Verfahren praktisch kaum mehr, was auch das Chippingsrisiko deutlich minimiert. Wichtig ist hierbei allerdings, dass die Herstellung auf die verwendeten Materialien und deren Verarbeitungsanleitung abgestimmt sein muss. [93] Auch die Temperatureinflüsse und die Wärmeausdehnung von Gerüst- und Verblendungsk Keramik müssen selbstverständlich beachtet und abgeglichen werden. [2] Ansonsten gelten auch bei Sinterverbundrestaurationen dieselben Faktoren, die bei der traditionellen, manuellen Verblendungstechnik eine Verblendfraktur begünstigen. Früher eingeschränkte CAD/CAM-Verfahren, mit denen Kronen- und Brückengerüste noch nicht in anatoformer Struktur, sondern nur als Käppchen für Kronen und mit stangenförmigen Verbindern für Brücken hergestellt werden konnten und außerdem eine dicke Verblendungsschicht über 1,5mm ohne Höckerunterstützung nötig machten, waren eine häufige Ursache für das klinische Versagen der Verblendung. [93, 2] Heutzutage kann mit modernen CAD/CAM-Systemen eine deutlich bessere reduziert-anatomische Gerüstgestaltung gewährleistet werden, was sich günstig auf die Langzeitüberlebensraten auswirken müsste. [93] Auch die hohe Zuverlässigkeit der Sinterverbundkronen- und brücken, durch den hervorragenden Verbund zwischen Gerüst und Verblendung und durch die Verwendung von industriell vorgefertigten Rohlingsblöcken, und die erhöhte Eigenfestigkeit der verwendeten Materialien sind ein deutlicher Vorteil der völlig neuen Herstellungsmethode. Bisherige Studienergebnisse gaben dieser neuen Verblendtechnik eine gute Prognose zur klinischen Haltbarkeit. [2] In Zukunft wird es durch all diese positiven Eigenschaften möglich sein, Sinterverbundbrücken zu fertigen mit dem Ziel, jede beliebige Indikation abzudecken. [93, 94]

2.2.3.2. Monolithische Zirkonoxidrestaurationen

Aus den USA kommend hat sich nun auch in Europa der Trend zu monolithischen, vollanatomisch geformten Zirkonoxidkronen und -brücken, die keine Verblendung haben, durchgesetzt. [66] Durch eine gezielte Weiterentwicklung des Hochleistungswerkstoffes Zirkoniumdioxid und neue Herstellungs- und Verarbeitungstechniken im CAD/CAM-Verfahren ist somit ein System entstanden, bei dem das Risiko einer Verblendfraktur entfällt. [2, 66] Selbst bei Zirkoniumdioxidrestaurationen, bei denen nur die sichtbaren vestibulären Flächen verblendet werden und die Funktionsflächen unverblendet bleiben, ist das Risiko von Chipping deutlich herabgesetzt. [2] Der Verzicht auf die raumfordernde Verblendung macht eine substanzschonende Präparation aufgrund der Eigenfestigkeit der Hochleistungskeramik möglich und begünstigt somit größere Kronen-Wandstärken. [2, 66] Nebenbei kann das Weglassen der Verblendung auch als Einsparpotential genutzt werden. [66] Um Zirkonoxid für monolithische Kronen zu qualifizieren, müssen allerdings besonders die Eigenfarbe und Opazität sowie die Oberflächenbeschaffenheit betreffend einige werkstoffliche und klinische Parameter geändert werden. [66] Damit eine bessere Farbgebung erreicht wird, können die Rohlinge in verschiedenen Farbstufen voreingefärbt werden oder man färbt sie individuell im vorgesinterten Zustand. Eine Semi-Transparenz wird mit der Absenkung des Al_2O_3 -Anteils erreicht, was allerdings die klinische Haltbarkeit auf Dauer herabsetzen könnte und eine hydrothermale Alterung wahrscheinlicher macht. [98, 66] Schließlich sollte der Zahnersatz zusätzlich mit einem Mal- und Glanzbrand optimiert und individualisiert werden. Dies führt jedoch nicht zu ästhetischen Ergebnissen, die mit Silikatkeramik vergleichbar sind, da die Fluoreszenz, die Lichtdurchlässigkeit der Glaskeramik und der Chamäleon-Effekt fehlen. Daher sind Zirkoniumdioxidrestaurationen eher für die wenigen sichtbaren Bereiche, d.h. vor allem für Molaren und gegebenenfalls Prämolaren, und für hochästhetische Frontzahnrestaurationen eher Lithiumdisilikatversorgungen geeignet. [99, 2, 66] Bei hoher Transparenz der natürlichen Zähne eines Patienten ist für eine Restauration im Front- oder Prämolarenbereich Lithiumdisilikat zu bevorzugen, ist der Referenzzahn dagegen hell, opak und oftmals mit monochromer Farbwirkung, ist auch Zirkoniumdioxid mit seinen tendenziell wenig lichtdurchlässigen Eigenschaften indiziert. Auch der Verfärbungsgrad der Zahnstümpfe und das zur Verfügung

stehende Platzangebot im bukkalen Bereich können ein opakes Restaurationsmaterial oder höhere Wandstärken erforderlich machen. [2] Laut Studien von Beuer et al [100], ist die Lichtdurchlässigkeit von vollanatomischen Zirkonoxidkronen höher als die von verblendeten Zirkonoxidkronen. Diese neuen Materialeigenschaften ermöglichen es, ein ansprechendes ästhetisches Ergebnis vor allem im Seitenzahnbereich zu erreichen. In derselben Studie wurde auch eine hohe Bruchfestigkeit bestätigt, die es ermöglicht, die Schichtstärken zu reduzieren und somit Restaurationen mit minimalinvasiver Präparation herzustellen. [100] In-Vitro-Kausimulationen monolithischer Zirkonoxidkronen mit Wandstärken bis minimal 0,3mm zeigten initial keine abweichenden Bruchlastwerte im Vergleich zu konventionellen, gleich dimensionierten Zirkonoxidkronengerüsten. [101] Damit wäre eine deutliche Reduzierung von posttraumatischer, endodontischer Läsionen zu erwarten.

Da Zirkonoxid ein hochfester Werkstoff ist, stellte sich die Frage, ob der natürliche Antagonist dadurch stärker geschädigt wird. Mehrere In-vitro-Studien aus Kausimulatoren beweisen jedoch, dass nicht die Härte des Werkstoffs, sondern die Oberflächenrauigkeit in der Verbindung mit der Härte einen schädigenden Einfluss auf den tribologischen Partner hat. [66] Daher muss die Restauration gründlich poliert werden, um beim antagonistischen Kontakt von Zirkondioxid einem Substanzabtrag im Gegenkiefer entgegenzuwirken. [2] Poliertes Zirkondioxid und Zahnschmelz zeigten in einer Kausimulation von *Starwarczyk* et al. nach 1,2 Millionen Kauzyklen mit Temperaturwechseln ein ähnliches Abrasionsverhalten. Außerdem scheinen Antagonisten von gut polierten Zirkonoxidkronen weniger stark zu abradieren als Antagonisten von feldspatischen Verblendkeramiken oder Lithiumdisilikatkeramiken. [102, 103] Aufgrund der Materialeigenschaften der Zirkonoxidkeramik und der nicht vorhandenen Abrasion findet allerdings scheinbar keine biomechanische Adaption im Zusammenspiel mit einem abrasionsfähigen Antagonisten statt, so dass die Gefahr besteht, dass von nicht voll exakt okklusal adjustierten Vollzirkon-Restaurationen Parafunktionen ausgelöst werden können.

Möglicherweise werden besonders bei Patienten mit Bruxismus solche vertikale und extenrische Belastungen ungepuffert in das stomatognathe System weitergeleitet. Bisher ist ungeklärt, ob das Auswirkungen auf das Kiefergelenk, auf das kommunizierende Gewebe oder auf Muskelgruppen haben könnte. [66] Um Schmelzfrakturen des Antagonisten zu vermeiden,

ist es entscheidend, die Restaurationen sehr exakt einzupassen und die Okklusion fein einzustellen und damit Vorkontakte in jeder Hinsicht zu vermeiden. [103] Unter der Berücksichtigung dieser Faktoren scheinen vollanatomische monolithische Zirkonoxidrestaurationen eine gute Alternative vor allem zu Vollgusskronen und –brücken darzustellen und haben im Vergleich zu diesen einen ästhetischen Vorteil. [66] Gute Prognosen der Monolithen bestehen auch in der Implantatprothetik, da hier wegen der fehlenden ossären Eigenbeweglichkeit des Endosselektionsimplantats und des taktilen Defizits das erhöhte Risiko der Verblendfraktur ausgeschlossen werden kann. Es muss allerdings angemerkt werden, dass für monolithische Zirkonoxidkeramikrestaurationen noch keine längerfristigen klinischen Studien mit Aussage zur Langzeitbewährung vorliegen. [2, 66] Daher befinden sich auch noch keine Empfehlungen dazu in der aktuellen S3-Leitlinie „Vollkeramische Kronen und Brücken“, die noch bis 2019 gültig ist.

2.3. Neueste Erkenntnisse

Da monolithische Zirkonoxidkronen und –brücken sich aus ästhetischen Gründen bisher nur für den Molarenbereich eignen und die Vollzirkondioxid-Prothetik aufgrund der genannten Limitationen noch keine Regelversorgung darstellt, sind Restaurationen aus Lithiumdisilikat eine viel diskutierte Alternative besonders für den sichtbaren Zahnbereich. Aufgrund ihrer Lichttransmission und Farbtiefe erfüllen sie hohe ästhetische Ansprüche und benötigen im Regelfall keine zusätzliche Verblendung, wodurch das Chipping-Risiko deutlich minimiert wird. Im Vergleich zur verblendeten Zirkonoxidversorgung entfallen zusätzlich die Bereitstellung des erforderlichen Raums für die Verblendung und die Mehrkosten durch die manuelle Verarbeitung. [1] Vollanatomische Lithiumdisilikat-Kronen haben sich durch ihre Festigkeit bereits für den Einsatz im Seitenzahnbereich qualifiziert, in Form von Brücken allerdings nur bis in den Prämolarenbereich. Eine weitere spannende neue Entwicklung stellt die Dentinkerntechnologie da, bei der die innere Grenzfläche zwischen Schmelz und Dentin schon im CAD-Programm bestimmt werden können. Digital erzeugte Dentinkernkronen und –brücken erzielen höchästhetische Ergebnisse und da die Verblendung auf die Dicke des Schneidebereichs

reduziert wird, kann das typische Versagensmuster einer Verblendung in Form von Chipping deutlich minimiert werden.

2.3.1. Dentinkerntechnologie

Der dreidimensionale Aufbau der Kroneninnenstruktur ist entscheidend für die ästhetische Wirkung einer Krone. Bisher war der innere Aufbau der Restauration und besonders der Verlauf der Grenzfläche zwischen Dentinkern und Schmelz von der Erfahrung und dem Geschick des Zahntechnikers abhängig. [2] Mit dem neuen „Dentinkern-Verfahren“, das von Prof. Florian Beuer und ZT Josef Schweiger entwickelt wurde, ist es nun möglich, die innere Grenzfläche zwischen Schmelz und Dentin schon im CAD-Programm zu bestimmen. Das Konzept beruht auf dem Prinzip, dass jeder Zahnaußenfläche ein exakt definierter Dentinkern zugeordnet werden kann. Es gibt sozusagen einen biogenerischen Zusammenhang zwischen der Zahnaußenform und dem schichtweisen inneren Aufbau des Zahns. Auf diese Zahnaußengeometrie des noch vorhandenen Teils des Zahnes kann bei der Bestimmung des Dentinkerns zurückgegriffen werden, wodurch das ästhetische Ergebnis im vornherein festgelegt werden kann, was einen enormen Fortschritt bedeutet. [104, 2] Es werden drei unterschiedliche Herangehensweisen beschrieben, um mit diesem neuen hochinnovativen, digitalen Verfahren den geschichteten Aufbau natürlicher Zähne nachzuahmen. Zum einen bieten Keramikhersteller schleifbare Blöcke für die CAD/CAM-Bearbeitung an, die aus mehreren planparallelen Schichten aufgebaut sind. Diese einzelnen Schichten weisen unterschiedliche Einfärbungen und Lichttransmissionseigenschaften auf, die die Farbgradienten des natürlichen Zahns vom Zahnhals über das Dentin bis zum Schmelz nachstellen. [105, 104] Durch unterschiedliche Ausrichtung des Zahnersatzes innerhalb des Rohlings ist es mithilfe der Software folglich möglich, das Chroma der Krone zu beeinflussen. Dadurch kann eine erheblich bessere Ästhetik erreicht werden als mit Restaurationen aus monochromatischen Rohlingen. [105, 104] Eine andere Variante der neuen Technologie sind beschleifbare Keramikblöcke, die eine dreidimensionale Blockstruktur mit Dentinkern und Schmelzhülle mit bogenförmigem Farbverlauf zwischen Dentin und Schmelz beinhalten. Die konstruierte Versorgung kann dann virtuell mittels der Software innerhalb des

Blocks so hin- und her geschoben werden, dass die gewünschten Anteile von Dentin- und Schmelzfarbe eingestellt sind. [105, 104] Zuletzt ist auch ein Vorgehen mit sogenannten „Halbzeugkronen“ möglich, die schon im Vorhinein die anatomische Außengeometrie der Zahnkrone und einen standardisierten, schichtweisen Aufbau aus Dentin- und Schneidemasse beinhalten. So muss anschließend nur das Volumen des Zahnstumpfs von der Basalseite des Rohlings mittels CAD/CAM herausgefräst werden. [105, 104] Die Fertigungssysteme errechnen ihren Vorschlag zur Innengeometrie gewöhnlich Zahndatenbanken, die sich aus der Außengeometrie von vorher eingescannten natürlichen Zähnen sowie Konfektionszähnen oder von manuell aufgewachsenen Zähnen zusammensetzen. [105] Dabei ist es möglich, digital die Dentinkerne der verschiedenen Zahntypen, wie Schneidezahn oder Molar, verschiedenen Formgruppen zuzuordnen. Zusätzlich wurden auch Merkmale wie Inzisalfurchen oder Mamelons für Individualisierungen der Restaurationen ins System aufgenommen. Das Verfahren ist vom Material und der verwendeten Verblendtechnologie unabhängig und ist mit allen zahnfarbenen, transluzenten Materialien zu verwirklichen. Für den inneren Aufbau kommen als Werkstoffe Glaskeramik, Feldspatkeramik, Lithiumdisilikat oder Oxidkeramiken infrage, die in Farbe und Transluzenz eine zahnfarbene Ästhetik erreichen. [105] Dieser „digitale Dentinkern“ wird anschließend im Schneidebereich durch manuelles Aufschichten oder Überpresstechnik durch den Zahntechniker vervollständigt oder durch eine CAD/CAM-gefräste Verblendung im Rahmen der Sinterverbundtechnik ergänzt. [105, 2] Digital erzeugte Dentinkernkronen und –brücken erzielen höchästhetische Ergebnisse und eignen sich besonders für den Frontzahnbereich. Ein weiterer Vorteil der Dentinkern-Technologie ist die Zeiteinsparnis, da keine Dentinmasse aufgetragen werden muss, und somit eine höhere Wirtschaftlichkeit vorliegt. [105, 104, 2] Da im Schneidebereich dieselben Keramikmaterialien wie bisher verwendet werden, kann der Zahnarzt beim Einschleifen der Restauration wie gewohnt vorgehen. Auch bezüglich der Abrasion des Antagonisten gelten daher dieselben werkstoffspezifischen Kriterien wie bisher. [2] Das neuartige Herstellungsverfahren bietet zudem mehr Sicherheit für mechanische Belastung, da durch das zusätzliche Volumen des Dentinkerns eine höhere Stabilität erreicht werden kann. Dies ist zum Beispiel besonders im sehr sensiblen Interdentalbereich von Brückengerüsten von Bedeutung. [105, 104, 2] Wie oben bereits erwähnt wurde in

wissenschaftlichen Studien belegt, dass mit der Schichtstärke der Verblendung das Chipping-Risiko erhöht wird. Da bei der Dentinkern-Technologie die Verblendung auf die Dicke des Schneidebereichs reduziert wird, kann das typische Versagemuster einer Verblendung im klinischen Alltag in Form einer Verblendungsfraktur deutlich minimiert werden. [105, 104, 2]

2.3.2. Monolithische Lithiumdisilikatrestaurationen

Besonders Lithiumdisilikat-Keramik hat sich durch den optimalen Synergismus von Ästhetik und Festigkeit als verblendfreier Monolith bewährt und bietet eine bewährte Alternative zu Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst und Verblendkeramik. [98] Lithiumdisilikat ist zurzeit das einzige Material, das im Bereich der Kronen Zehnjahresdaten vorweisen kann und ist somit Goldstandard, solange keine Zehnjahresdaten von anderen Materialien präsentiert werden. [34] Mit dieser höchsten Evolutionsstufe der Glaskeramiken kann die Problematik der Verblendfrakturen nahezu umgangen werden und trotz hoher Festigkeit bemerkenswerte ästhetische Ergebnisse erzielt werden. Aufgrund ihrer Farbtiefe und Lichttransmission erfüllen sie hohe ästhetische Ansprüche und benötigen im Regelfall keine zusätzliche Verblendung. [1] Langjährige klinische Erfahrung belegen eine Festigkeit von 500 MPa für IPS e.max-Lithium-Disilikat*. Aufgrund dieser hohen Festigkeit bieten die Restaurationen flexible Befestigungsmöglichkeiten und je nach Patientensituation können die Restaurationen hochästhetisch verblendet oder – als monolithisch hergestellte Restauration – bemalt und individualisiert werden. [106] Ein entscheidender Vorteil ist die nahezu universelle Nutzbarkeit, beispielsweise hinsichtlich der Stumpfbeschaffenheit (hier kann zum Beispiel auch eine tiefer liegende Präparation eines stiftversorgten Zahnes erfolgen), der Verarbeitungsweise (chairside, semi-chairside oder labside) wie auch der Befestigung (konventionell, selbstadhäsiv und adhäsiv). Ebenfalls positiv zu beurteilen ist der Vorteil der teilkristallinen Verarbeitung und Lithiumdisilikatkronen sind chairside weniger aufwendig zu fertigen als monolithische Zirkonoxidrestaurationen. [48] Im typischen „blauen“ Zustand bietet Lithiumdisilikat den CAD/CAM-Schleifern nicht allzu großen Widerstand, was deren Abnutzung reduziert, besitzt aber gleichzeitig aufgrund seiner Biegefestigkeit von ca. 120 MPa genügend Stabilität, um vor

Eingliederung der Versorgung Okklusionskontrollen im Patientenmund zu ermöglichen. Somit kann gleich die Passung überprüft werden und eventuelle Umgestaltungen unmittelbar am Behandlungsstuhl unter Wasserkühlung durchgeführt werden. Weil bei der folgenden Kristallisation lediglich eine Verdichtung von 0,2 % auftritt, ist keine klinisch relevante Größenänderung bemerkbar und die Passung entspricht der nach dem nur 20-minütigen Kristallisationsbrand im Standardkeramikofen. [9, 10] Zahnähnliche Lichtleitfähigkeit ist der große Vorteil der Silikate im Vergleich zur Oxidkeramik und somit sind monolithische Zirkoniumdioxidrestaurationen eher für die wenigen sichtbaren Bereiche, d.h. vor allem für Molaren und gegebenenfalls Prämolaren, und für höchästhetische Frontzahnrestaurationen Lithiumdisilikatversorgungen besonders geeignet. [99, 2, 66] Mit klinischen Überlebensraten von 96-98 Prozent nach 10 Jahren in situ sind Lithiumdisilikat-Kronen auch für den Seitenzahnbereich geeignet und mit den Überlebensraten der Metallkeramik vergleichbar. [98, 107, 12] Gemäß Hersteller sollte eine ausgeprägt, klar definierte Hohlkehle präpariert werden und eine okklusale Materialstärke von 1,5mm ermöglicht werden, was mehr Platzbedarf bedeutet als bei monolithischen Zirkonoxidrestaurationen. [2] Da es im Molarenbereich hauptsächlich auf die Festigkeit ankommt, werden Lithiumdisilikatversorgungen meist unverblendet (monolithisch) eingesetzt. Besonders aber bei Einzelversorgungen im Frontzahnbereich, bei denen nicht die komplette ästhetische Zone restauriert werden muss, sollte dagegen verblendetes Lithiumdisilikat herangezogen werden, denn schließlich ist hier die Ästhetik ein entscheidender Aspekt. Verblendete Lithiumdisilikatkeramiken zeigten im Frontzahnbereich bei einer Beobachtungsdauer von 5, 8 oder 10 Jahren Überlebensraten zwischen 93,8 und 96,8 %. [34] Da monolithische Lithiumdisilikatkeramik allerdings eine höhere Festigkeit aufweist als verblendete Lithiumdisilikatkeramik und erfolgreich sowohl für Frontzahnbrücken und als auch Seitenzahnbrücken bis zum Prämolarenbereich verwendet wird, kann ein starker Expertenkonsens in der aktuellen S3-Leitlinie „Vollkeramische Kronen und Brücken“ für ihre Empfehlung ausgesprochen werden. [34] Die Überlebensraten der genannten vollkeramischen Front- und Seitenzahnkronen sind außerdem vergleichbar mit denen von Metallkeramikronen.[34] Es können 3-gliedrige Brücken bis zum Ersatz eines Prämolaren durch CAD/CAM-unterstütztes Schleifen aus Blöcken oder durch Presstechnik indiziert sein. Brücken

aus monolithischer Lithiumdisilikatkeramik können eingeschränkt allerdings nur zur Verwendung bis zum Ersatz des ersten Prämolaren empfohlen werden, da für den Ersatz von weiter posterior fehlenden Seitenzähnen keine Herstellerfreigabe vorliegt.[34] Da bisherige Überlebensraten für verblendete Brücken im Seitenzahnbereich aus Lithiumdisilikatkeramik zwischen 65% - 82,9% liegen, lassen diese keine evidenzbasierte Empfehlung zu und sollten nicht angewandt werden.[34] Für die subtraktive Verarbeitung der Rohlinge stehen mehrfarbige Blöcke zur Verfügung, die entweder in einem linearen Verlauf oder in einem „Dentin-Schmelz“-Aufbau eingefärbt sind. [98] Diese innovativen Weiterentwicklungen der Dentinkerntechnologie wurde unter Punkt 2.3.1. bereits genauer beschrieben.

In der vorliegenden Studie waren die Restaurationen aus Testgruppe 2 (genauere Beschreibung folgt in Material und Methode) monolithische Brücken und Kronen aus CAD/CAM bearbeiteter Lithiumdisilikatkeramik.

3. Material und Methode

3.1. Überblick

In der vorliegenden In-vivo-Studie wurde die klinische Langzeitbewährung von vollkeramischen Restaurationen aus Zirkonoxid-Keramik, die mit fluorapatithaltiger Glasverblendkeramik verblendet wurde (Cerec InLab + exp. Verblendkeramik, **Testgruppe 1**), und aus CAD/CAM bearbeitete Lithiumdisilikatkeramik (eMax CAD, Blue Ceramics, **Testgruppe 2**) untersucht.

Hierfür wurden 46 Patienten im Zeitraum zwischen 2004 und 2007 mit insgesamt 94 vollkeramischen Kronen und 27 vollkeramischen Brücken versorgt. Alle Versorgungen wurden durch das CAD/CAM-Verfahren angefertigt, wobei innerhalb zwei verschiedener Testgruppen verschiedene Materialien verwendet wurden. Die erste Nachuntersuchung fand jeweils zwei Wochen nach der Eingliederung statt, danach sollte jährlich ein Recall stattfinden um den aktuellen Zustand der Versorgungen zu beurteilen. Die für diese retrospektive Langzeitstudie ausschlaggebenden Nachuntersuchungen wurden im Zeitraum vom Februar 2013 – März 2014 angelegt. 33 Probanden konnten für die Studie gewonnen werden und bis auf 2 Einzelkronen waren von diesen Testpersonen noch alle Kronen und Brücken in situ. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren die Versorgungen im Mittel 83,4 Monate (6,95 Jahre) im Patientenmund.

Besonderes Augenmerk bei den Nachuntersuchungen wurde auf Materialversagen der Verblendung und die dementsprechende Chippingrate gelegt. Im Fokus war hierbei auch die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Untersuchung, sowie der Einfluss der Erfahrung des Behandlers. Daher wurden sowohl Dokumentationsfotos der Restaurationen als auch Rasterelektronenmikroskop-Proben von zwei unterschiedlich erfahrenen Untersuchern bewertet und die Übereinstimmung der Bewertungen verglichen. Parameter zur Evaluation der gingivalen und parodontalen Gesundheit wurden erhoben, der klinische Zustand von Zahn und Krone im Speziellen befundet und zudem noch Ästhetik und Funktion beurteilt [siehe Kapitel 3.4.2.].

Die Studie wurde durch finanzielle Unterstützung sowie Bereitstellung von Geräten und

42 | TESTGRUPPE 1: RESTAURATIONEN MIT HANDGESCHICHTETER VERBLENDKERAMIK AUF ZIRKONOXIDGERÜSTEN (IPS E.MAX ZIRCAD + IPS E.MAX CERAM)

Materialien der Firma Ivoclar-Vivadent GmbH getragen. Zu den Vertragspartnern auf Seite der Ludwig-Maximilians-Universität München gehörten Prof. Dr. Florian Beuer und Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Gernet.

3.1.1. Testgruppe 1: Restaurationen mit handgeschichteter Verblendkeramik auf Zirkonoxidgerüsten (IPS e.max ZirCAD + IPS e.max Ceram)

Innerhalb dieser Studie wurden Gerüste aus der sich bereits klinisch bewährten Zirkonoxidkeramik Inceram YZ (IPS e.max ZirCAD, Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) hergestellt, welche mittels eines CAD/CAM-Verfahrens (Cerec InLab-System) im Grünzustand bearbeitet und anschließend dichtgesintert wurden. Danach wurden diese hochfesten Gerüste mit einer speziell auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Zirkonoxid abgestimmten, niedrig-schmelzenden und fluorapatithaltigen Glasverblendkeramik verblendet (IPS e.max Ceram, Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Alle in-vitro Testungen der Materialien waren zum damaligen Zeitpunkt bereits abgeschlossen. Es wurden 48 Einzelkronen und 15 Brücken dieser Materialgruppe eingegliedert. Indikationsgebiet der Studie waren sowohl Einzelkronen, als auch 3- und 4-gliedrige Front- und Seitenzahnbrücken. Wesentliche Parameter, die dabei betrachtet werden sollten, stellen Funktion, Abplatzen der Verblendung, Abrasion und Oberflächenqualität der Restauration und des Antagonisten, als auch die Ästhetik dar.

3.1.2. Testgruppe 2: Monolithische Restaurationen aus Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max CAD)

Die in dieser Testgruppe untersuchten Versorgungen wurden aus Lithiumdisilikatkeramik angefertigt, welche mittels eines CAD/CAM-Verfahrens (KaVo-Everest, KaVo-EWL/Leutkirch) im Zustand vor der Endkristallisation bearbeitet wurde und die anschließend durch

Wärmebehandlung seine Endfestigkeit erhielt (IPS e.max CAD, Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Eine Verblendung mit speziell auf den Wärmedehnungskoeffizienten von Lithiumdisilikat abgestimmter, niedrig-schmelzender und fluorapatithaltiger Glasverblendkeramik war möglich, aber zwecks der bereits guten ästhetischen Eigenschaften von Lithiumdisilikat meist nicht nötig. Bei Testgruppe 2 waren das Indikationsgebiet sowohl Einzelkronen, als auch Brücken im Front- und Prämolarenbereich. Hierbei wurden 23 Einzelkronen und 2 Brücken getestet. Die Besonderheit der in diesem Verfahren hergestellten Restaurationen ist, dass es durch die CAD/CAM-Technik möglich wurde, die geplanten Versorgungen aus einem Rohling unter genauester Beachtung der Materialmindestschichtstärke herauszufräsen. Beim Aufwachsen des Gerüsts dagegen können die Verbinderquerschnitte der Konnektoren nur abgeschätzt werden, was oft zu Unterdimensionierung und klinisch zur Fraktur der Versorgung führte. Alle in-vitro-Testungen waren zu Studienbeginn bereits abgeschlossen und eine klinische Untersuchung somit indiziert. Wichtige Prüfungsparameter waren auch hier Frakturen, Funktion, Abplatzen der Verblendung, Abrasion des Antagonisten und der Restauration, sowie Ästhetik.

3.2. Patientenauswahl

Für die Auswahl der Patienten, denen die zu untersuchenden Versorgungen eingesetzt werden sollten, wurden bestimmte Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. Die Probanden sollten älter als 18 Jahre sein und voraussichtlich keinen Ortswechsel geplant haben. Eine ansprechende Mundhygiene, die mindestens als durchschnittlich eingestuft werden konnte, wurde vorausgesetzt. Die Restzähne der Patienten sollten bereits restauriert und in parodontal gesundem Zustand sein, wobei maximal ein Lockerungsgrad 1 akzeptiert wurde. Schwangere und Stillende wurden von der Studie ausgeschlossen. Die meisten Probanden waren bereits langjährige Patienten von dem Studienleiter Prof. Florian Beuer (**Untersucher 2**), was die Beurteilung, ob sie die Teilnahmekriterien erfüllten oder nicht erleichterte. Somit wurden in den Jahren 2004 bis 2007 bei 46 Patienten vollkeramische Kronen und Brücken eingesetzt. Für die diese Langzeitstudie betreffenden Nachuntersuchungen im Zeitraum von 2013-2014 konnten

44 | PRÄPROTHETISCHE VORBEREITUNGSMAßNAHMEN UND EINGLIEDERUNG DER RESTAURATIONEN

davon noch 33 Probanden gewonnen werden und insgesamt 94 Einzelkronen und 27 Brückenglieder aus zwei verschiedenen Materialgruppen untersucht werden. Die durchschnittliche Liegezeit der Versorgungen betrug 83,4 Monate (6,95 Jahre).

Alle teilnehmenden Patienten wurden vor der Einwilligung zur Teilnahme mündlich über den Hintergrund und das Risiko der Untersuchung aufgeklärt. Zusätzlich erhielten die Patienten einen Aufklärungsbogen, auf dem das Einverständnis zur Teilnahme an den Untersuchungen schriftlich geklärt wurde. Die jeweils notwendige, hochwertige Versorgung aus neuen Keramikmaterialien erhielten die Patienten gratis, wobei sie sich dadurch an der Teilnahme an den folgenden Nachuntersuchungen und dem damit verbundenen zeitlichen Mehraufwand beim Zahnarzt verpflichteten. Die Deklaration von Helsinki bildet die anerkannte Grundlage für die ethischen Erwägungen dieser klinischen Studie und die Zustimmung der Ethikkommission die Voraussetzung für deren Beginn.

3.3. Präprothetische Vorbereitungsmaßnahmen und Eingliederung der Restaurationen

Im Jahr 2004 bis 2007 wurden die in dieser Studie untersuchten Restaurationen vor allem von Prof. Florian Beuer (Untersucher 2) und sechs weiteren qualifizierten Mitarbeitern (Dr. H. Aggstaller, Dr. J. Schneider, Dr. K. Spiegl, ZA T. Mayer, ZA N. Roemmelt und ZA N. Katzendobler) eingegliedert. Alle im folgenden Kapitel beschriebenen Vorbereitungen und Behandlungsschritte wurden von den genannten Personen durchgeführt und sind für die Nachuntersuchung dieser retrospektiven Studie von großer Bedeutung.

a) Prothetische Vorbereitungsmaßnahmen:

Vor der Präparation fand eine Dokumentation der aktuellen Situation durch Fotos statt. Zusätzlich wurde auch eine Alginatabformung des präprothetischen Zustands genommen und falls noch nicht vorhanden, ein Röntgenbild angefertigt.

45 | PRÄPROTHETISCHE VORBEREITUNGSMAßNAHMEN UND EINGLIEDERUNG DER RESTAURATIONEN

Folgende Kriterien galten für die Präparation:

<ul style="list-style-type: none">• Falls ein Metallstift im Zahn (Brückenpfeiler, Krone) vorhanden ist, muss dieser nicht entfernt werden.
<ul style="list-style-type: none">• Die Farbbestimmung erfolgt mittels Vita classic- Farbschlüssel.
<ul style="list-style-type: none">• Die Präparation erfolgt falls möglich supragingival mit Stufe/ ausgeprägter Hohlkehle, zervikaler Rand mindestens 1mm, okklusaler Abstand mindestens 1,5mm, gemessen 1mm oberhalb der Präparationsgrenze.
<ul style="list-style-type: none">• Die Dicke des Keramikmaterials beträgt axial und okklusal mindestens 0,4mm.
<ul style="list-style-type: none">• Bei einer Stufenpräparation dürfen keine inneren scharfen Kanten entstehen, sondern die Stufe soll abgerundet und leicht abfallend sein.
<ul style="list-style-type: none">• Die Verwendung eines Zirkonstiftes Cerapost (Brasseler) wird bei einem Stiftaufbau empfohlen.
<ul style="list-style-type: none">• Im Falle eines Verbinders werden 9mm² (3mm Höhe x 3mm Breite) fest vorgeschrieben.
<ul style="list-style-type: none">• Die Schichtstärke der Verblendung muss mindestens 0,6mm betragen und die Gesamtstärke mindestens 1mm.
<ul style="list-style-type: none">• Die Stumpfhöhe muss mehr als 3mm betragen.

Tabelle 1: Präprothetische Richtlinien

Nach der Präparation wurden sowohl Dokumentationsfotos gemacht, als auch eine Abformung mit Silikon oder Polyäthergummimassen wie President, Coltene oder Permadyne (Espe) genommen. Ein Provisorium wurde aus den üblicherweise am Studienort verwendeten Materialien hergestellt.

46 | PRÄPROTHETISCHE VORBEREITUNGSMAßNAHMEN UND EINGLIEDERUNG DER RESTAURATIONEN

b) Herstellung der Restaurationen:

<i>Testgruppe 1</i>	<i>Cerec InLab – Anlage</i>
<i>Testgruppe 2</i>	<i>KaVo-Everest - Anlage</i>

Tabelle 2: verwendete Schleifeinheiten der Testgruppen

Die prothetische Abteilung der Universität München bekam jeweils kostenfrei eine Cerec InLab-Anlage für Testgruppe 1 und eine KaVo-Everest-Anlage für Testgruppe 2 zur Verfügung gestellt. Hiermit wurden die Restaurationen nach bereits besprochenem Vorgehen hergestellt. Die Zirkonoxidgerüste der Testgruppe 1 wurden darauffolgend mit einer fluorapatithaltigen Glasverblendkeramik verblendet.

c) Einprobe der Restaurationen:

Vorerst wurde die klinische Passung der Kronen und Brücken mit einem niedrig viskösen Material wie FitChecker und Xantopren blau überprüft und daraufhin die Okklusion getestet. Wenn bei der Einprobe der neu hergestellten Versorgungen nur kleine Korrekturen nötig waren, konnten diese direkt am Stuhl durchgeführt werden. Nach der Nachbearbeitung wurde die Restauration mit geeigneten Keramiksilikonpolierern und Keramikpolierpasten (Identoflex, KerrHawe) wieder hochglanzpoliert. Größere Korrekturen wurden im zahntechnischen Labor durchgeführt und erforderten einen neuen Glanzbrand.

d) Zementierung:

<i>Testgruppe 1</i>	<i>Glasionomerzement (Ketac Cem Aplicap, 3M Espe)</i>
<i>Testgruppe 2</i>	<i>selbststützender, selbstkonditionierender Adhäsivzement (Multilink, I.Vivadent)</i>

Tabelle 3: Zementierung der Testgruppen

Die Befestigung der Brücken der Testgruppe 1 erfolgte nach einer Säuberung mit 80% Ethanol mit einem Glasionomerzement, während die Brücken der Testgruppe 2 mit einem

selbststützenden, selbstkonditionierenden Adhäsivzement eingesetzt wurden.

Nach Eingliederung der Restauration erfolgte wiederum eine Fotodokumentation von okklusal, bukkal und oral.

3.4. Nachuntersuchungen

Die ersten Nachuntersuchungen durch den Studienleiter Prof. Florian Beuer (im nachfolgenden Text als **Untersucher 2** bezeichnet) fanden in den ungefähren Zeitabständen von zwei Wochen (Baseline), sechs Monaten, einem Jahr sowie nach zwei und drei Jahren nach der Eingliederung in den Räumen der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ludwig-Maximilians-Universität München statt. Im Zeitraum 2013 bis 2014 wurde im Rahmen dieser Studie von der Autorin der vorliegenden Dissertation (im nachfolgendem Text als **Untersucher 1** bezeichnet) erneut Nachuntersuchungen durchgeführt. Die 27 Brückenglieder und 96 Kronen der 33 noch erreichbaren Patienten waren, bis auf zwei Einzelkronen, zu dieser Zeit im Mittel 83,4 Monate in situ. Für die Einzelfallbeurteilungen stand ein Dokumentationsbogen zur Verfügung, der von dem nachuntersuchenden Zahnarzt ausgefüllt wurde. Die Abstufung der einzelnen Beurteilungskriterien wurde entsprechend der Angaben auf dem Arbeitsbogen vorgenommen (siehe Dokumentationsbogen im Anhang S. 117). Einzelheiten zu den Untersuchungsmethoden und Bewertungskriterien der nachuntersuchten Parameter werden im folgenden Text genauer beschrieben. Für die Bewertung bestimmter Untersuchungsparameter wurden entweder einfache Nummerierungen (z.B. Grad 0 – 3) verwendet oder die von Ryge und Snyder 1973 genannten USPHS-Kriterien modifiziert und herangezogen. Generell steht „Alpha“ hierbei für einen exzellenten und „Bravo“ für einen klinisch akzeptablen Zustand. Der Bewertungsgrad „Charlie“ bedeutet, dass nach weiterer Beobachtung möglicherweise eine Erneuerung der Restauration aus präventiven Gründen erforderlich ist, während „Delta“ für die Notwendigkeit der sofortigen Erneuerung wegen bereits eingetretener Schäden an Nachbarstrukturen steht. Musste eine Krone erneuert werden, so wurde sie als absoluter Misserfolg gewertet. Der Patient erhielt eine neue Krone, die aber nicht Bestandteil der Studie war. Weitere

Nachuntersuchungen an dieser Krone wurden nicht vorgenommen.

Bei den Nachuntersuchungen wurden außerdem der aktuelle Zustand der Restauration durch Fotos dokumentiert und zusätzlich Präzisionsabformungen beider Kiefer mit Aquasil (Dentsply) genommen. Somit konnten Präzisionsmodelle aus AlphaDie MF (Schütz, dental group) hergestellt werden, von denen ausgesuchte Modelle nachträglich unter einem Rasterelektronenmikroskop untersucht und sowohl von Untersucher 1 als auch Untersucher 2 unabhängig voneinander beurteilt wurden.

Untersuchungskriterien

Die Prü fzähne der beiden Testgruppen und ihre Referenzzähne wurden auf folgende biologische und technische Parameter untersucht und getestet:

3.4.1.1. Biologische Parameter

Plaque-Index (0-3) nach Silness und Löe

Der Plaque-Index nach Silness und Löe (1996) ist ein Maß für die Plaque im Zahnhalsbereich unter Berücksichtigung des Sulkus, der Zahnoberfläche und des Gingivarandes. Die Bewertung des Plaqueindex nach Silness und Löe wird ohne Anfärben an allen 4 Zahnflächen mit Auge und Sonde vorgenommen. Zur besseren Erkennung der Plaque muss der Zahnhalsbereich mit dem Luftbläser ca. 20s getrocknet werden.

Es werden vier Schweregrade unterschieden:

Grad 0	keine Plaque
Grad 1	Dünner Plaquefilm am Gingivarand, nur erkennbar durch Abstreichen der Sonde
Grad 2	Mäßig Plaque entlang dem Gingivarand, Interdentalräume frei, mit dem Auge erkennbar
Grad 3	Viel Plaque entlang dem Gingivarand, Interdentalräume mit Plaque gefüllt

Tabelle 4: Plaque-Index nach Silness und Loe

Gingivaindex (0-3) nach Loe und Silness

Dieser Index basiert auf den klinischen Charakteristika einer Gingivitis und erfasst in 3 Graden die Entzündung des Zahnfleischs. Eine Blutung soll erst ab Grad 2 vorliegen.

Grad 0	Normale Gingiva, keine Entzündung, keine Verfärbung, keine Blutung
Grad 1	Geringe Entzündung, leichte Farbveränderung, geringe Oberflächenveränderung, keine Blutung
Grad 2	Mäßige Entzündung, Schwellung, Blutung bei Sondierung und auf Druck
Grad 3	Starke Entzündung, starke Rötung und Schwellung, Tendenz zu Spontanblutungen, evtl. Ulzeration

Tabelle 5: Gingiva-Index nach Loe und Silness 1963

Blutungsindex nach Mühlemann

Man kann davon ausgehen, dass der Entzündungsgrad der Gingiva neben Auftreten von ödematösen Schwellungen und Rötungen vor allem mit der Blutungsneigung der Gingiva nach

stumpfen Sondieren mit einer Parodontalsonde korreliert. Die Beurteilung erfolgte nach ca. 30 Sekunden nach schonendem Ausstreichen des Sulkus mit einer genormten Parodontalsonde (WHO-Sonde), wobei die Eindringtiefe 0,5mm nicht überschreiten sollte. In der Praxis kann durch das Ablesen der Blutung im ersten und dritten Quadranten vestibulär, sowie im zweiten und vierten Quadranten oral, der prozentuale Sulkus-Blutungs-Index (SBI) errechnet werden, der Hinweise auf die vorhandene Mundhygiene des Patienten gibt. Für die vorliegende Studie waren jedoch eher die folgenden Entzündungsgrade von Bedeutung, um die restaurierten Zähne mit den jeweiligen Referenzzähnen zu vergleichen.

Grad 0	normal aussehende Gingiva, keine Blutung bei Sondierung
Grad 1	Normal aussehende Gingiva, Blutung bei Sondierung
Grad 2	Entzündliche Farbveränderung der Gingiva, Blutung bei Sondierung
Grad 3	Wie Grad 2, zusätzlich leichte ödematöse Gingivaschwellung
Grad 4	Wie Grad2, zusätzlich schwere entzündliche Gingivaschwellung
Grad 5	Wie Grad 4, zusätzlich spontane Blutungen und evtl. Ulzerationen der Gingiva

Tabelle 6: Blutungsindex nach Mühlemann

Taschensondierungstiefen

Um die Gesundheit des Zahnhalteapparates nach Eingliederung der Restaurationen zu kontrollieren und diese mit dem parodontalen Zustand der Referenzzähne zu vergleichen, wurden jeweils die Taschentiefen der restaurierten Zähne und der Referenzzähne distal sowie mesial gemessen.

Vitalität und Perkussion

Zur Diagnose des Pulpazustands stehen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung. Durch die Anwendung eines Kältetest mittels Dichloridfluormethan (ca -25°C) werden die Zähne auf

Sensibilität und Vitalität geprüft, wobei man davon ausgeht, dass vorhandene Kälteempfindlichkeit eines Zahnes klinisch gleichbedeutend mit dem Vorhandensein einer vitalen Pulpa ist. Der Perkussionstest wird mit dem Griff eines zahnärztlichen Instruments durchgeführt und ist besonders wichtig zur Abgrenzung und Diagnose einer Parodontitis apicalis. Beide Parameter wurden entweder mit 0 (Zahn vital/ Perkussion unauffällig) oder 1 (Zahn nicht kälteempfindlich(devital?)/ perkussionsempfindlicher Zahn) gewertet.

3.4.1.2. Technische Parameter

Okklusion

Sowohl die statische als auch die dynamische Okklusion wurden mit Hilfe von farbiger Okklusionsfolie getestet und je nachdem als zufriedenstellend (1) oder als fehlend (0) eingestuft.

Lage der Restaurationsgrenze

Die Präparation erfolgte falls möglich vor allem im approximal-zervikalen Rand supra- bzw. isogingival, um der Entstehung von Parodontopathien vorzubeugen. Besonders in sichtbaren Bereichen ist eine subgingivale Präparation für ein optimales ästhetisches Ergebnis jedoch oft unvermeidbar. Während der Untersuchung wurde die Lage der Restauration mit der Sonde getestet und je nachdem als iso- (1), supra- (2) oder subgingival (3) gewertet.

Abrasion der Restaurationen und ihrer Antagonisten

Sowohl die Restauration als auch der Antagonist wurden klinisch auf Abrasion untersucht und entweder mit „keine Abrasion sichtbar“ (0) oder mit „Abrasion sichtbar“ (1) eingestuft.

Verblendfrakturen

Klinisch wurden die Restaurationen auf Risse, Abplatzungen oder Oberflächendefekt von **Untersucher 1** beurteilt. Nachfolgend beurteilten sowohl sie als auch **Untersucher 2** die klinischen Fotos der Restaurationen sowie einige ausgewählte Bilder des Rasterelektronenmikroskops separat. Im Rahmen der Studie konnte somit auch verglichen werden, ob die Beurteilung der klinischen Situation im Mund und die Beurteilung der klinischen Fotodokumentation unterschiedlich ausfallen würden. Zusätzlich war auch interessant, ob zwischen den Testgruppen 1 und 2 signifikante Unterschiede festzustellen waren. Ein Augenmerk wurde auch auf den Vergleich der Untersuchungsergebnisse der jeweils unterschiedlich erfahrenen Untersucher gelegt. Für die Bewertung wurden die von Ryge und Snyder 1973 genannten USPHS-Kriterien modifiziert und herangezogen. Dabei stand „Alpha“ für eine Restauration ohne Beanstandung, wogegen „Bravo“ für eine Restauration mit kleinen Rissen und Abplatzungen, die jedoch korrigiert werden können, vergeben wurde. „Charlie“ bedeutete, dass die Risse oder Abplatzungen der Versorgung nicht mehr vollständig korrigierbar waren und sie beobachtet werden sollte, um den Schutz der Pfeilerzähne und der umliegenden Strukturen sowie die Funktion der Restauration sicherzustellen. Wenn die Restauration beispielsweise frakturiert war und entfernt werden musste, wurde ihr sie mit „Delta“ bewertet.



Abbildung 2: Abplatzung an Brückenpfeiler 46



Abbildung 3: Abplatzung an Brückenpfeiler 37

Oberflächenqualität der Restaurationen

Wie bei den Abplatzungen wurde auch die Oberflächenqualität klinisch nur von Untersucher 1 überprüft. Die klinischen Fotos und die ausgesuchten Bilder des Rasterelektronenmikroskops jedoch wurden sowohl von Untersucher 1 als auch Untersucher 2 unabhängig voneinander untersucht, was auch hier einen Vergleich der Ergebnisse möglich macht. Eine maximal vergütete und glatte Oberfläche erhielt in der Beurteilung ein „Romeo“, war die Oberfläche jedoch leicht rau und die Restauration konnte jedoch korrigiert und in situ belassen werden, galt sie als „Sierra“. Wies eine Versorgung deutliche Oberflächendefekte auf, die nicht vollständig korrigierbar waren, wurde sie als „Tango“ eingestuft. Eine erneuerungsbedürftige Restauration erhielt in der Bewertung ein „Victor“. Die Thematik, dass schlechtere Oberflächenqualität eine Abfrakturierung der Verblendkeramik höchstwahrscheinlich begünstigt, macht dieses Untersuchungskriterium zusätzlich interessant für diese Studie.



Abbildung 4: Brücke von 12-12 mit leichten Mängeln der Oberflächenqualität (Testgruppe 1)

Marginale Randqualität der Restaurationen

Bei jeder Versorgung der Probanden wurde der Restaurationsrand der vollkeramischen Kronen und Brücken während der klinischen Nachuntersuchung sondiert und danach dementsprechend bewertet. Ein nicht sondierbarer Restaurationsrand erhielt die Bewertung „Alpha“, ein minimal tastbarer Rand dagegen „Bravo“. Bei einem zu beobachtenden und massiv tastbaren Randspalt wurde ein „Charlie“ vergeben, bei „Delta“ drang die Sonde unter den Kronenrand ein und die Restauration musste entfernt und erneuert werden.

Sekundärkaries

Unter Sekundärkaries versteht man neue kariöse Defekte im Randbereich von zahnärztlichen Restaurationen, deren Wahrscheinlichkeit durch einen vorhandenen Randspalt deutlich erhöht wird. Erneut wurden für die Bewertung die von Ryge und Snyder 1973 genannten USPHS-Kriterien herangezogen und für eine anstandslose Restauration ein „Alpha“ vergeben. „Bravo“ stand für eine oberflächliche Entkalkung oder einen white spot am Restaurationsrand, während für die Bewertung „Charlie“ klinisch eine Karies diagnostiziert wurde, die mittels einer Füllungstherapie behandelt werden konnte. Bei einer klinisch oder röntgenologisch festgestellten Dentinkaries „Delta“ ist die Entfernung und Erneuerung der Restauration indiziert.

Ästhetische Bewertung der Restaurationen

Auch die ästhetischen Kriterien sind für den Erfolg einer Versorgung entscheidend und somit wurde auch die Farbanpassung der Kronen und Brücken im Vergleich zu den Nachbarzähnen beurteilt. Hierbei stehen auch die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Testgruppen im Fokus. Wenn bestenfalls zwischen Restauration und Nachbarzähnen kein Unterschied in Farbe und Transluzenz wahrnehmbar war, wurde die Versorgung mit „Alpha“ eingestuft. Ein leichter Unterschied hingegen, der sich jedoch noch im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe oder Transluzenz bewegt, erhielt die Bewertung „Bravo“. Bei „Charlie“ war dieser Unterschied nicht mehr akzeptabel und als „Delta“ wurden erneuerungsbedürftige und unästhetische Versorgungen bezeichnet.

Schließlich wurde noch die Form der Kronen und Brücken beurteilt und auch die Testgruppen 1 und 2 gegeneinander verglichen. Optimaler Weise fügten sich die Restaurationen harmonisch in die umliegenden Gegebenheiten ein oder waren leicht unter- oder überkonturiert.

3.4.1.3. Abformung und Modellherstellung

Sowohl der Kiefer mit der Versorgung als auch die Antagonisten wurden jeweils mit dem A-Silikon Präzisionsabformmaterial Aquasil Ultra (Dentsply) abgeformt und die Abformungen 10

Minuten in einem Desinfektionsbad desinfiziert. Darauffolgend konnten mit AlphaDie (Schütz, dental group) Präzisionsmodelle der Restaurationen sowie der Gegenzähne im Labor hergestellt werden. Diese dienten sowohl zur Dokumentation als auch als Vorlage für die Proben unter dem Rasterelektronenmikroskop (siehe 3.4.4.).



Abbildung 5: Präzisionsmodelle aus AlphaDie (Schütz, dental group)

3.4.1.4. Rasterelektronenmikroskopaufnahmen und Dokumentationsfotos

Bei jedem an der Studie teilnehmenden Patienten wurde wie bereits erwähnt der aktuelle Zustand der restaurierten Zähne durch Fotos dokumentiert. Die Fotos wurden sowohl von zwei unterschiedlich erfahrenen Untersuchern im Nachhinein unabhängig voneinander auf die Parameter Abplatzungen und Oberflächenqualität bewertet. Somit konnte später die Übereinstimmung getestet werden, die Rückschlüsse auf den Einfluss der Erfahrung des nachuntersuchenden Behandlers sowie auch die Reproduzierbarkeit der Untersuchung zulässt.



Abbildung 6: Dokumentationsfoto einer Brücke 12-21 (Testgruppe 1)

In der prothetischen Abteilung der LMU München wurden Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von jeweils 5 ausgewählten Präzisionsmodellen mit Abplatzung, 5 ausgewählten Modellen ohne Abplatzung und den entsprechenden Antagonisten angefertigt. Für die Aufnahmen wurde das Rasterelektronenmikroskop Supra 55 VP (Zeiss Supra 55 VP, Carl Zeiss AG, Oberkochen) verwendet. Waren auf der Übersichtsaufnahme (30- fache Vergrößerung) Auffälligkeiten wie zum Beispiel Risse, Abplatzungen oder Oberflächendefekte zu erkennen, wurden zusätzlich Detailaufnahmen von den entsprechenden Stellen (50- oder 200- fache Vergrößerung) angefertigt. Somit wurden insgesamt 39 Bilder erstellt. Da es sich bei den Proben um nichtleitende vollkeramische Materialien handelte, mussten alle Proben auf einem passenden Träger fixiert und vor der Rasterelektronenmikroskopaufnahme mithilfe einer Sputteranlage (Polaron Range SC 7620 Sputter Coater, Quorum Technologies Ltd, Ashford, United Kingdom) in einer Argonatmosphäre unter 20 mA mit einer Gold Palladium Legierung beschichtet werden. Für eine ausreichende Elektronenleitfähigkeit wurde eine 28,6 nm dicke Schicht gleichmäßig aufgetragen. Damit Verwechslungen ausgeschlossen werden konnten, wurden die beschichteten Proben durchnummeriert und mit Hilfe eines Trägers in das Rasterelektronenmikroskop eingesetzt. Per digitaler Übertragung wurde mit dem Programm SmartSEM von der Firma Zeiss (Carl Zeiss AG, Oberkochen) die Auflösung, der Kontrast und die Schärfe des gewünschten Bereichs eingestellt und daraufhin die Aufnahme durchgeführt. Die erstellten Bilder wurden digital an den PC übermittelt und zur Analyse dargestellt. Die folgenden Abbildungen zeigen die verwendeten Geräte und die Durchführung der Rasterelektronenmikroskopaufnahmen.



Abbildung 7: Mithilfe Sputteranlage beschichtete Probe

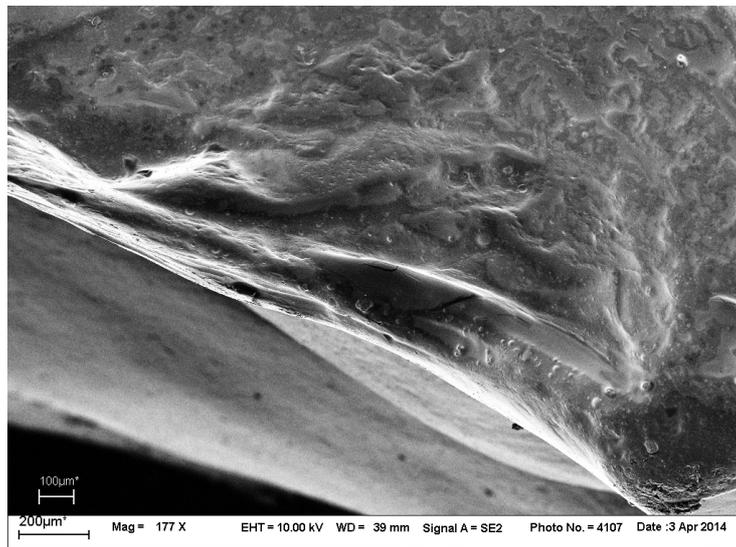


Abbildung 8: REM-Aufnahme einer Ablatzung (Testgruppe 1) 177X021

3.5 Auswertung & Statistik

Die statistischen Analysen wurden unter Verwendung der Statistikprogramme SPSS 22.0 der Firma IBM und Microsoft Excel durchgeführt. Die mit Kronen und Brücken versorgten Prüfvzähne wurden mit den natürlichen unversorgten Referenzzähnen verglichen. Zusätzlich wurden in einigen Punkten die Unterschiede von Testgruppe 1 und Testgruppe 2 zueinander untersucht.

Die diskreten Variablen wurden mit absoluten und relativen Häufigkeiten repräsentiert. Um mögliche Gruppenunterschiede untersuchen zu können, wurden Mann Whitney U Tests berechnet. Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt. Für die Verlaufsanalysen wurden Kaplan Meier Kurven mit Log Rank Tests erstellt. Die Übereinstimmung der Beurteilung zwei verschiedener Untersucher wurden mit Cohens Kappa Tests überprüft und mit Hilfe des Cohens Kappa Koeffizient bewertet.

4. Ergebnisse

Von den ursprünglich 46 Teilnehmern, die in der Zeit von 2004 bis 2007 mit Kronen und Brücken der untersuchten zwei Studien versorgt worden waren, konnten noch 33 Patienten erreicht und einbestellt werden. Die Recallrate betrug somit 71,74%. Bei zwei der 33 Probanden war jeweils eine Einzelkrone nicht mehr in situ, wobei jeweils eine aus dem Material von Testgruppe 1 und die andere aus Testgruppe 2 war. Klinisch beurteilt wurden somit 121 versorgte und ersetzte Zähne. Es wurden insgesamt 12 männliche und 21 weibliche Patienten nachuntersucht. Die geprüften Restaurationen waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen im Mittel seit 83,4 Monaten im Mund der Patienten in situ.

	[ALL]	Testgruppe 1	Testgruppe 2
Prüfzähne	N=121	N=94	N=27
Monate in situ	83,4	86,9	71,2

Tabelle 7: Monate in situ der Prüfzähne

Von den 24 Patienten, die innerhalb Testgruppe 1 (Ivoclar-CerecInlab) versorgt worden waren, wurden insgesamt 94 Prüfzähne untersucht. Die Beurteilung der Studienparameter der restlichen 27 Prüfzähne erfolgte anhand der innerhalb Testgruppe 2 (IPS e.max CAD LT) teilnehmenden 9 Patienten.

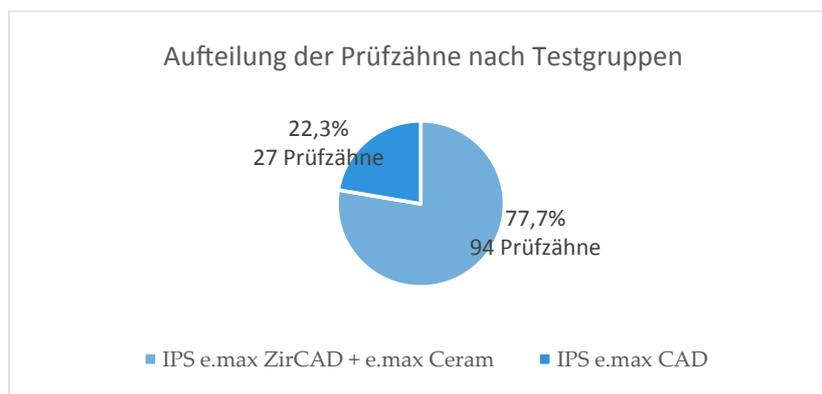


Abbildung 9: Prüfzahnanteil der Testgruppen

Von allen Prüfzähnen lag der Anteil der Einzelkronen bei 57,0% und der Anteil der durch Brückenpfeiler und -glieder versorgten oder ersetzten Zähne bei 43,0%.

In Testgruppe 1 betrug der Einzelkronenanteil 51,6% und der Brückengliederanteil 48,4%, während in Testgruppe 2 nur 23,1% Brückenglieder und 76,9% Einzelkronen waren.

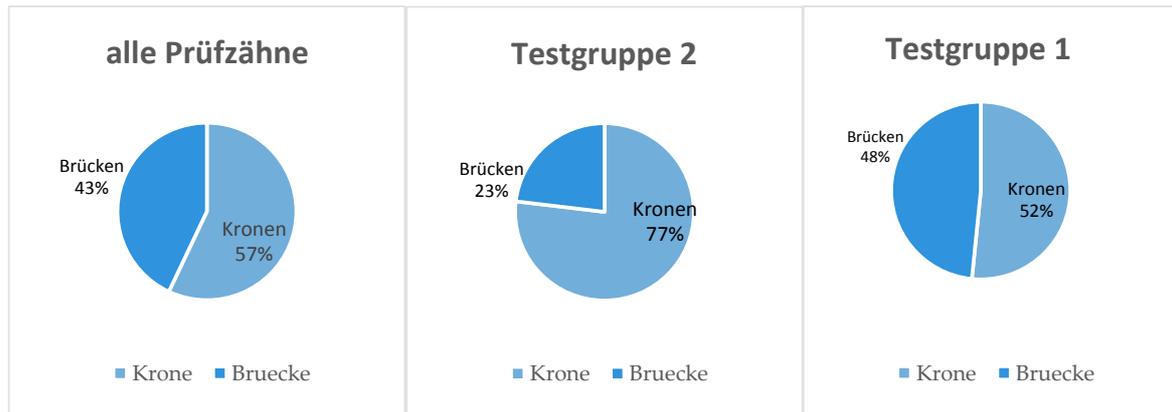


Abbildung 10: Anteil der Kronen und Brücken innerhalb aller Prüfzähne und innerhalb der Testgruppen

4.1. Plaqueakkumulation an den Restaurationen und Referenzzähnen

Die Plaqueanlagerung an allen Pfeilerzähnen von Testgruppe 1 und 2 ist im Vergleich zu den natürlichen Nachbarzähnen (als Referenzzahn bezeichnet) signifikant weniger. Dieses Ergebnis bestätigt die geringe Plaqueakkumulation an keramischen Versorgungen. Während bei 58,7% der versorgten Zähne kein Plaque festgestellt wurde, konnte bei 51,5% der natürlichen Referenzzähne ein dünner Plaquefilm untersucht werden. Viel Plaque entlang dem Gingivarand und mit Plaque gefüllte Interdentalräume (Grad 3) wurden bei keinem der Patienten beobachtet. Dies könnte unter anderem dadurch begründet werden, dass akzeptable Mundhygiene eines der Auswahlkriterien für die Teilnahme an der Studie war. Die verringerte Gesamtzahl der untersuchten Zähne liegt hier bei 102 Prüfzähnen, da die Verbindungsglieder der Brücken nicht gemäß dem Plaque-Index nach Silness und Loe geprüft werden konnten. Bei jedem der 33 Patienten wurde jeweils ein Referenzzahn bewertet.

61 | PLAQUEAKKUMULATION AN DEN RESTAURATIONEN UND REFERENZZÄHNEN

	Prüfzahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Plaque	N=102	N=33	0,652	0,003
Grad 0	59 (57,8%)	10 (30,3%)		
Grad 1	37 (36,3%)	17 (51,5%)		
Grad 2	6 (5,9%)	6 (18,2%)		

Tabelle 8: Plaqueakkumulation auf den Oberflächen der Prüfzähne im Vergleich zu den Referenzzähnen

Die Kreisdiagramme veranschaulichen diesen signifikanten Unterschied (p-Wert 0,003) zwischen Prüf- und Referenzzähnen:

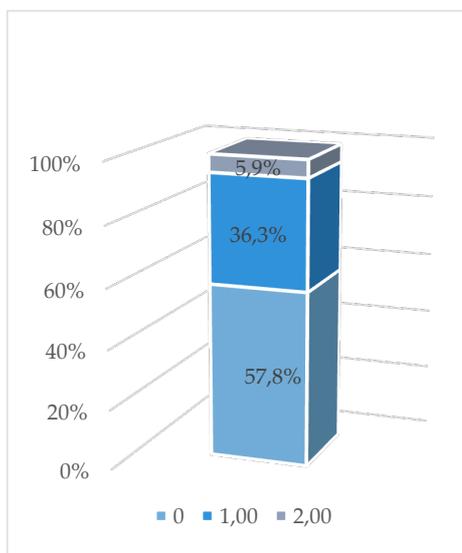


Abbildung 11: Plaqueakkumulation auf den Oberflächen der Prüfzähne

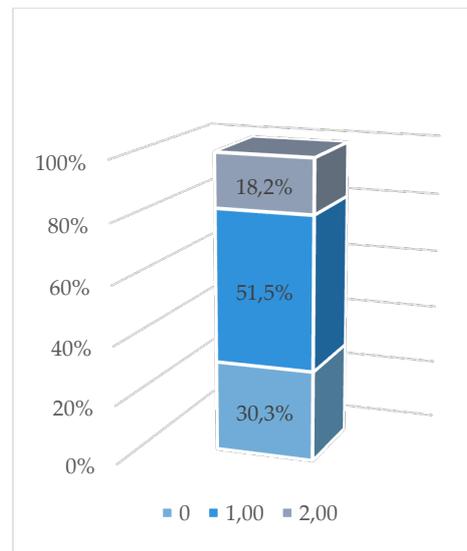


Abbildung 12: Plaqueakkumulation auf den Oberflächen Referenzzähne

Zusätzlich wurde auch die unterschiedliche Plaqueakkumulation innerhalb der beiden Studien getestet. In Testgruppe 1 wurde bei 59,5% der versorgten Zähne kein Plaque und bei 34,2% ein dünner Plaquefilm festgestellt. Dieses Ergebnis ist signifikant unterschiedlich zu den Plaquewartergebnissen der natürlichen Nachbarzähne, bei denen deutlich mehr Belag befundet wurde (p-Wert 0,003). Bei nur 30,3% der natürlichen Referenzzähne konnte kein Plaque und bei

62 | EINFLUSS DER RESTAURATIONEN AUF GINGIVA UND PULPA

51,5% ein dünner Plaquefilm untersucht werden. Mäßige mikrobielle Plaqueakkumulation entlang dem Gingivarand konnte bei 18,2% festgestellt werden, während die keramischen Oberflächen nur zu 5,9% entsprechenden Grad 2 aufwiesen. Im Vergleich hierzu war der Unterschied zwischen den Kontrollzähnen von Testgruppe 2 und den Referenzzähnen nicht signifikant, dennoch war auch hier der mikrobielle Biofilm an den natürlichen Zähnen deutlich höher als an den restaurierten Zähnen. (p-Wert 0,226)

	Testgruppe 1				Testgruppe 2			
	Prüfzahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert Mann Whitney U Test	Prüfzahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Plaque	N=79	N=23	0,668	0,006	N=23	N=10	0,609	0,226
Grad 0	47 (59,5%)	7 (30,4%)			12 (52,2%)	3 (30,0%)		
Grad 1	27 (34,2%)	11 (47,8%)			10 (43,5%)	6 (60,0%)		
Grad 2	5 (6,3%)	5 (21,7%)			1 (4,3%)	1 (10,0%)		

Tabelle 9: Plaqueakkumulation der Prüfvähe der beiden Testgruppen im Vergleich zu den Referenzzähnen

Im direkten Vergleich der Prüfvähe beider Testgruppen ergab sich kein signifikanter Unterschied.

	Prüfvähe Testgruppe 1	Prüfvähe Testgruppe 2	Standardabweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Plaque	N=79	N=23	0,609	0,613
Grad 0	47 (59,5%)	12 (52,2%)		
Grad 1	27 (34,2%)	10 (43,5%)		
Grad 2	5 (6,3%)	1 (4,3%)		

Tabelle 10: Vergleich der Plaqueakkumulation der Prüfvähe der beiden Testgruppen

4.2. Einfluss der Restaurationen auf Gingiva und Pulpa

Zu den Gingiva betreffenden Untersuchungskriterien gehören der Gingiva-Index nach Löe und Silness, der Blutungsindex nach Mühlemann und die Taschensondierungstiefen mesial sowie

63 | EINFLUSS DER RESTAURATIONEN AUF GINGIVA UND PULPA

distal. Die Parameter geben Einblick in den parodontalen Zustand und Entzündungsgrad der Gingiva und des Zahnhalteapparates der restaurierten Zähne im Vergleich zu den nicht behandelten Referenzzähnen. Es konnten diesbezüglich allerdings keine auffälligen Unterschiede der gingivalen oder parodontalen Gesundheit festgestellt werden und keine Messwerte waren signifikant unterschiedlich. Durch schonende Präparationstechniken und die biologisch höchstverträglichen keramischen Materialien war eine Versorgung der Zähne ohne weitere Traumatisierung der Gingiva somit möglich.

	Prüfzahn	Referenzzahn	Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Gingiva:	N=102	N=33	0,732	0,397
0	68 (66,7%)	19 (57,6%)		
1	23 (22,5%)	10 (30,3%)		
2	9 (8,8%)	4 (12,1%)		
3	2 (2,0%)	0 (0,00%)		
Blutung:	N=102	N=33	0,604	0,238
0	84 (82,4%)	24 (72,7%)		
1	12 (10,1%)	6 (18,2%)		
2	5 (4,2%)	3 (9,1%)		
3	1 (0,8%)	0 (0,00%)		
TST_m:	N=100	N=33	0,752	0,444
1	34 (34,0%)	7 (21,2%)		
2	40 (40,0%)	18 (54,5%)		
3	26 (26,0%)	8 (24,2%)		
TST_d:	N=100	N=33	0,802	0,143
1	41 (41,0%)	10(30,3%)		
2	40 (40,0%)	13 (39,4%)		
3	19 (19,0%)	9 (27,3%)		
5	0 (0,00%)	1 (3,0%)		

Tabelle 11: Ergebnisse der Untersuchungskriterien der Gingiva der Prüfzähne im Vergleich zu der Gingiva der Referenzzähne

Im Vergleich der beiden Studien untereinander gab es keine signifikanten Unterschiede bis auf den Blutungsindex nach Mühlemann innerhalb Testgruppe 2. Während hier bei nur 4,3% der Prüfzähne bei Sondierung eine Blutung zu beobachten war, war dies bereits bei 30% der Referenzzähne der Fall. Zusätzlich fiel innerhalb Testgruppe 2 auf, dass die distalen

64 | EINFLUSS DER RESTAURATIONEN AUF GINGIVA UND PULPA

Sondierungstiefen der natürlichen Referenzzähne höher waren als die der restaurierten Zähne. Bei den Prü fzähnen betrug die Sondierungstiefe bei den meisten Zähnen 1mm, bei den Zähnen ohne Versorgung war die häufigste Ausprägung 3. Der p-Wert des Mann Whitney U Tests war mit 0,062 knapp über Signifikanzniveau.

	Testgruppe 1				Testgruppe 2			
	Prüfzahn	Referenzzahn	Standard-abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test	Prüfzahn	Referenzzahn	Standard-abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Gingiva	N=79	N=23	0,707	0,895	N=23	N=10	0,761	0,292
0	57 (72,2%)	16 (69,6%)			11 (47,8%)	3 (30,0%)		
1	13 (16,5%)	5 (21,7%)			10 (43,5%)	5 (50,0%)		
2	8 (10,1%)	2 (8,7%)			1 (4,3%)	2 (20,0%)		
3	1 (1,3%)	0 (0,00%)			1 (4,3%)	0 (0,00%)		
Blutung	N=79	N=23	0,619	0,856	N=23	N=10	0,561	0,041
0	63 (89,7%)	18 (78,3%)			21 (91,3%)	6 (60,0%)		
1	11 (13,9%)	3 (13,0%)			1 (4,3%)	3 (30,0%)		
2	4 (5,1%)	2 (8,7%)			1 (4,3%)	1 (10,0%)		
3	1 (1,3%)	0 (0,00%)						
TST_m	N=77	N=23	0,716	0,401	N=23	N=10	0,792	0,673
1	28 (36,4%)	6 (26,1%)			6 (26,1%)	1 (10,0%)		
2	35 (45,5%)	12 (52,2%)			5 (21,7%)	6 (60,0%)		
3	14 (18,2%)	5 (21,7%)			12 (52,2%)	3 (30,0%)		
TST_d	N=77	N=23	0,719	0,703	N=23	N=10	0,998	0,062
1	31 (40,3%)	8 (34,8%)			10 (43,5%)	2 (20,0%)		
2	33 (42,9%)	11 (47,8%)			7 (20,4%)	2 (20,0%)		
3	13 (16,9%)	4 (17,4%)			6 (26,1%)	5 (50,0%)		
5	0 (0,00%)	0 (0,00%)			0 (0,00%)	1 (10,0%)		

Tabelle 12: Ergebnisse der Untersuchungskriterien der Gingiva der Prüf- und Referenzzähne beider Testgruppen

Desweiteren wurde der Einfluss der Restauration auf Pulpazustand und periapikale Region durch den Vitalitäts- und den Perkussionstest getestet. Beide Parameter wurden entweder mit 0 (Zahn vital/ Perkussion unauffällig) oder 1 (Zahn nicht kälteempfindlich(devital)/ perkussionsempfindlicher Zahn) gewertet. Der Vergleich der Messwerte erfolgt wiederum gegenüber den Referenzzähnen sowie innerhalb der beiden Studienmaterialien. Im Vergleich

65 | EINFLUSS DER RESTAURATIONEN AUF GINGIVA UND PULPA

zwischen allen restaurierten Prüfvzähnen und den natürlichen Nachbarzähnen konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Pulpazustandes bewiesen werden. Die Vitalität der mit Keramik versorgten Zähne war zu 81,0% positiv. 4 von allen Prüfvzähnen wurden auf Perkussion positiv getestet.

	Prüfv Zahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Vitalität:	N=100	N=33	0,386	0,238
negativ	19 (19,0%)	3 (9,1%)		
positiv	81 (81,0%)	30 (90,9%)		
Perkussion:	N=100	N=33	0,171	0,993
negativ	97 (97,0%)	32 (97,0%)		
positiv	3 (3,0%)	1 (3,0%)		

Tabelle 13: Ergebnisse der Vitalitäts- und Perkussionstests der Prüfvzähne im Vergleich zu den Referenzzähnen

Im Vergleich der beiden Studien untereinander konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Vitalität und der Perkussion festgestellt werden.

	Testgruppe 1			Testgruppe 2			Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
	Prüfv Zahn	Referenzzahn	Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test	Prüfv Zahn	Referenzzahn		
Vitalität:	N=62	N=23	0,403	0,808	N=23	N=10	0,331	0,808
negativ	1 (20,8%)	2 (8,7%)			3 (13,0%)	1 (10,0%)		
positiv	61(79,2%)	21 (91,3%)			20(87,0%)	9 (90,0%)		
Perkussion:	N=77	N=23	0,197	1,00	N=23	N=10	0,000	1,00
negativ	74(96,1%)	22 (95,7%)			23 (100%)	10 (100%)		
positiv	3 (3,9%)	1 (4,3%)						

Tabelle 14: Ergebnisse der Vitalitäts- und Perkussionstests der Prüf- und Referenzzähne beider Testgruppen

4.3. Materialermüdung und –verschleiß

Die Ergebnisse der Untersuchungen zu Abrasion und Materialermüdung in Abhängigkeit von den Okklusionsverhältnissen sowie zur Abrasion des Antagonisten durch die Keramik gestalteten sich wie folgt:

Okklusionsverhältnisse

Innerhalb des Tests auf vorhandene statische Okklusion mit Shimstockfolie befanden sich 89,9% der Restaurationen in stabiler Okklusion, während 10,1% keinen Kontakt auf der Keramik aufwiesen. Nur bei 5,9% der Prü fzähne war zum Zeitpunkt der Untersuchung keine dynamische Okklusion vorhanden, während 94,1% mit positivem dynamischen Kontakt bewertet werden konnten. Es wurden keine signifikanten Auffälligkeiten oder Unterschiede im Vergleich zu den natürlichen Nachbarzähnen festgestellt, von denen ebenfalls 87,9% in statischen Shimstockkontakt und 97,0% in dynamischen Kontakt standen.

	Prüfzahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Statische Okklusion:	N=119	N=33	0,308	0,737
Kein statischer Shimstockkontakt	12 (10,1%)	4 (12,1%)		
statischer Shimstockkontakt	107 (89,9%)	29 (87,9%)		
Dynamische Okklusion:	N=119	N=33	0,224	0,518
kein dynamischer Kontakt	7 (5,9%)	1 (3,0%)		
dynamischer Kontakt	112 (94,1%)	32 (97,0%)		

Tabelle 15: statische und dynamische Okklusion der Prüf- und Referenzzähne

Im Vergleich zwischen Testgruppe 1 und Testgruppe 2 waren keine auffälligen oder signifikanten Okklusionsunterschiede festzustellen.

	Testgruppe 1				Testgruppe 2			
	Prüfzahn	Referenz-zahn	Standard-abweichung	p-Wert	Prüfzahn	Referenz-zahn	Standard-abweichung	p-Wert
Statische Okklusion:	N=94	N=23	0,326	0,860	N=25	N=10	0,236	0,496
kein statischer Shimstockkontakt	11 (11,7%)	3 (13,0%)			1 (4,0%)	1 (10,0%)		
statischer Shimstockkontakt	83 (88,3%)	20 (87,0%)			24 (96,0%)	9 (90,0%)		
Dynamische Okklusion:	N=94	N=23	0,222	0,215	N=25	N=10	0,236	0,496
kein dynamischer Kontakt	6 (6,4%)	0 (0,00%)			1 (4,0%)	1 (10,0%)		
dynamischer Kontakt	88(93,6%)	23 (100%)			24 (96,0%)	9 (90,0%)		

Tabelle 16: statische und dynamische Okklusion der Prüf- und Referenzzähne beider Testgruppen

Abrasion an Restauration und Antagonist

Von den geprüften Zähnen mit keramischer Versorgung wiesen 9,2% klinisch mit bloßem Auge in situ erkennbare Abrasionen auf, während bei 90,7% die Versorgung ohne Beanstandung oder Abnutzung war. Dagegen waren bei 43,2% der Antagonisten der Restaurationen Abrasionen sichtbar. Zusätzlich kann festgestellt werden, dass die Abrasionen der Referenzzähne mit 38,5% deutlich höher als die der Prüfzähne waren, was einen signifikanten Unterschied ergibt. (p-Wert 0,005)

	Prüfzahn	Referenzzahn	Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Abrasion Restauration:	N=119	N=27	0,339	0,005
Keine Abrasion	107 (90,7%)	19 (70,4%)		
sichtbare Abrasion	11 (9,2%)	8 (29,6%)		
Abrasion Antagonist:	N=118	N=26	0,496	0,658
Keine Abrasion	67 (56,8%)	16 (61,5%)		
Sichtbare Abrasion	51 (43,2%)	10 (38,5%)		

Tabelle 17: Abrasion der Prüfzähne im Vergleich zu den Referenzzähnen und den jeweiligen Antagonisten

Die folgende Grafik veranschaulicht den signifikanten Unterschied der Abrasionen der Restaurationen der Prüfzähne im Vergleich zu den Abrasionen der natürlichen Referenzzähne, die deutlich stärker waren.



Abbildung 13: Abrasion der Prüf- und Referenzzähne

Auch wenn bei beiden Studienmaterialien die Abrasionen der natürlichen Nachbarzähne deutlich höher war als bei den Prüfzähnen, ist der Unterschied nur in Testgruppe 1 signifikant. Hier konnten bei 8,6% der mit Keramik versorgten Zähne Abrasionen beobachtet werden, während es bei den unversorgten Kontrollzähnen 33,3% waren.

	Testgruppe 1				Testgruppe 2			
	Prüfzahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert	Prüfzahn	Referenzzahn	Standardabweichung	p-Wert
Abrasion Restauration:	N=93	N=27	0,333	0,004	N=25	N=10	0,359	0,464
Keine Abrasion	85(91,4%)	12 (66,7%)			22 (88,0%)	8 (80,0%)		
Sichtbare Abrasion	8 (8,6%)	6 (33,3%)			3 (12,0%)	2 (20,0%)		
Abrasion Antagonist:	N=93	N=27	0,483	0,921	N=25	N=10	0,493	0,219
Keine Abrasion	59(63,4%)	11 (64,7%)			8 (32,0%)	6 (60,0%)		
Sichtbare Abrasion	34 (36,6%)	6 (35,3%)			17 (68,0%)	5(40,0%)		

Tabelle 18: Abrasion der Prüf- und Referenzzähne beider Testgruppen

4.4. Lage der Restaurationsgrenze

Bei der überwiegenden Mehrheit (78,4%) der mit Kronen und Brücken versorgten Pfeilerzähne wurde bei der klinischen Untersuchung mit der Sonde eine isogingivale Restaurationsgrenze festgestellt. 7,8% wiesen eine supragingivale Lage der Restaurationsgrenze auf, während bei 13,7% ein subgingivaler Rand sondiert werden konnte.

	Prüfzahn
Restaurationsgrenze:	N=102
isogingival	80 (78,4%)
supragingival	8 (7,8%)
subgingival	14 (13,7%)

Tabelle 19: Lage der Restaurationsgrenze der Prüfzähne

Zwischen Testgruppe 1 und Testgruppe 2 waren bezüglich der Lage der Restaurationsgrenze keine auffälligen oder signifikanten Unterschiede feststellbar. In Testgruppe 1 waren etwas mehr subgingivale und in Testgruppe 2 mehr supragingivale Ränder sondiert worden, was allerdings eher einem Zufallsbefund und dem Bedarf des entsprechenden Patienten zuzuschreiben ist. In beiden Testgruppen waren die Mehrheit der Restaurationen isogingival einzementiert.

	Testgruppe 1	Testgruppe 2	Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Restaurationsgrenze	N= 93	N=27	0,726	0,664
isogingival	74 (78,4%)	22 (81,5%)		
supragingival	5 (7,8%)	3 (11,1%)		
subgingival	14 (13,7%)	2 (7,4%)		

Tabelle 20: Lage der Restaurationsgrenze der Prüfvähne von Testgruppe 1 im Vergleich zu Testgruppe 2

4.5. Verblendfrakturen

Die Problematik von Abplatzungen der Verblendkeramik bei Restaurationen mit Zirkonoxidgerüsten ist seit Jahren im Fokus der Zahnärzte und Zahntechniker und wird viel diskutiert. Expertenteams versuchten mit verschiedenen Lösungsansätzen wie zum Beispiel der CAD-on Technik das sogenannte Chipping zu reduzieren. Somit lag auch bei unserer Untersuchung ein Hauptaugenmerk auf den Ergebnissen bezüglich der Abplatzungen. Neben der klinischen Untersuchung der Prüfvähne durch Untersucher 1, wurden Fotos der Restaurationen von Untersucher 1 sowie dem erfahreneren Untersucher 2 beurteilt. Zusätzlich bewerteten beide ebenfalls die Aufnahmen von ausgewählten Präzisionsmodellen unter dem Rasterelektronenmikroskop. Interessant ist hierbei auch, ob es einen Unterschied innerhalb der Bewertung der beiden Untersucher gibt, die als Berufsanfängerin und Professor sowie Experte in diesem Forschungsgebiet unterschiedlich erfahren waren.

4.5.1. Klinische Untersuchung der Verblendfrakturen

Von insgesamt 119 Prüfvähnen wurden während der klinischen Untersuchung bei 8 Restaurationen eine kleine Abplatzung mit Einstufungsgrad bravo festgestellt, was bedeutet, dass die leichten Mängel jedoch vollständig korrigierbar sind und den Patienten nicht stören. Nur eine Restauration wurde klinisch mit charlie bewertet, da sie eine Abplatzung hatte die nicht vollständig korrigierbar war. Sie blieb in situ, muss jedoch beobachtet werden, um den Schutz der Pfeilerzahn und der umliegenden Strukturen sowie der Funktion der Restauration

71 | KLINISCHE UNTERSUCHUNG DER VERBLENDFRAKTUREN

sicherzustellen. Somit waren 92,4% der Prüfvorne ohne Beanstandung als alpha eingestuft worden.

	Prüfvorn
Abplatzung_klinisch:	N=119
Alpha	110 (92,4%)
Bravo	8 (6,7%)
Charlie	1 (0,8%)

Tabelle 21: Klinische Abplatzungen der Prüfvorne

Während alle 8 noch korrigierbaren Verblendfrakturen mit Einstufungsgrad bravo aus Testgruppe 1 stammten, fiel die einzige nicht vollständig korrigierbare Abplatzung mit Einstufungsgrad charlie in Testgruppe 2. Da verhältnismäßig auch weniger Prüfvorne in Testgruppe 2 sind, folgt hieraus kein signifikanter Unterschied. Dennoch bestärkt die Verteilung aller bravo Abplatzungen auf Testgruppe 1 die Feststellung, dass Abfrakturierungen bei Verblendkeramik auf Zirkonoxidgerüsten (Testgruppe1) wahrscheinlicher sind als bei monolithischen Restaurationen (Testgruppe 2). Da die Abplatzung meist nur das Verblendmaterial betrifft und das Zirkonoxidgerüst unbeschadet bleibt, erscheinen diese Mängel scheinbar klinisch oft als noch korrigierbar.

	Testgruppe 1	Testgruppe 2	Standard-abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Abplatzung klinisch:	N=94	N=35	0,274	0,407
Alpha	86 (91,5%)	34 (97,1%)		
Bravo	8 (8,5%)	0 (0,0%)		
Charlie	0 (0,00%)	1 (2,9%)		

Tabelle 22: Klinische Abplatzungen der Prüfvorne aus Testgruppe 1 im Vergleich zu Testgruppe 2

Die Kaplan-Meier Analyse der Überlebenszeit mit Zielereignis *Abplatzung der Restauration oder Restauration nicht mehr in situ* ergab für eine Zeit von 120 Monaten:

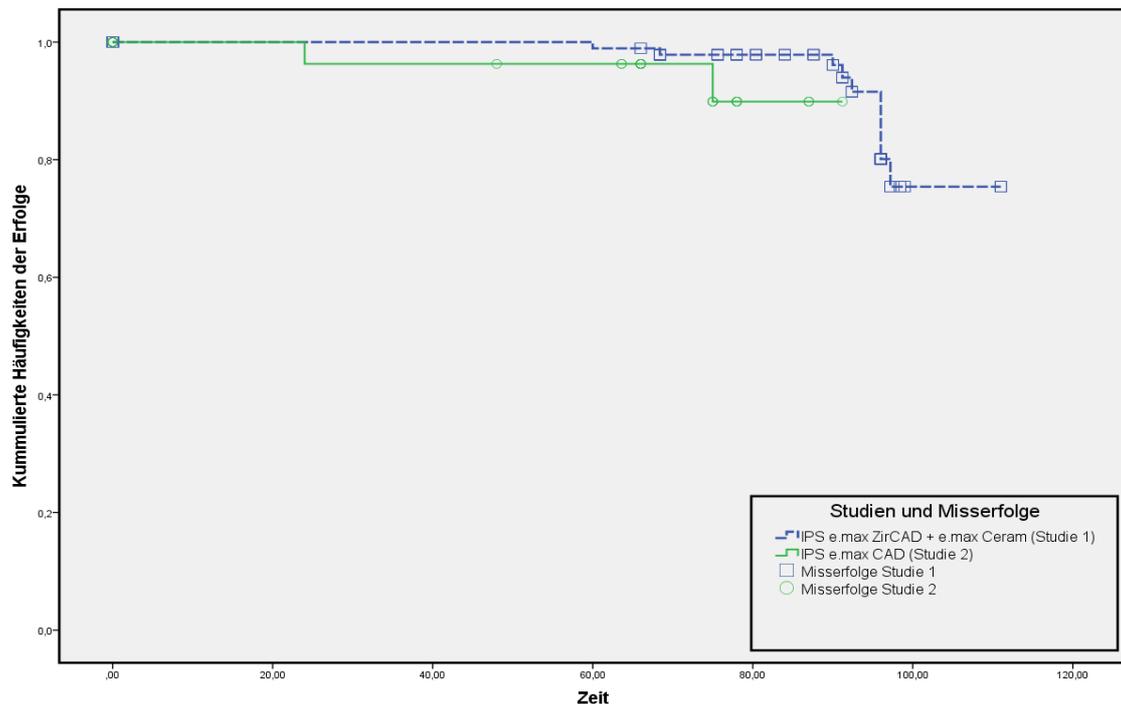


Abbildung 14: Überlebensfunktion der Restaurationen aus Testgruppe 1 und 2 nach Kaplan-Meier

Über einen Zeitraum von 60 Monaten haben sich die Prüfzähne beider Testgruppen bis auf die beiden vor der Untersuchung entfernten Restaurationen als erfolgreich und fast vollständig ausfallsfreies Intervall erwiesen. Durch die während dem Untersuchungszeitraum zwischen 60 und 100 Monaten festgestellten Abplatzungen ergibt sich in dieser Zeit ein auffälliger Abfall der Kurve. Die Erfolgsquoten über die Zeit unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Testgruppen. Wenn Verblendfrakturen und Entfernung einer Restauration als Misserfolg gewertet werden, liegt die **Erfolgsrate** aller Prüfzähne zusammen bei 90,9%. Die Erfolgsrate innerhalb Testgruppe 1 beträgt 90,5% und innerhalb Testgruppe 2 92,3%.

73 | BEURTEILUNG DER DOKUMENTATIONSFOTOS DURCH ZWEI UNTERSUCHER

Im Folgenden werden verschiedene Übereinstimmungen der Beurteilungen betrachtet, wofür sich ein Vergleich des Cohens Kappa Koeffizient anbietet. Der Übereinstimmungsgrad wurde nach dem Cohens Kappa Koeffizient und folgender Einteilung gewertet. Die Tabelle wird an dieser Stelle einmal aufgeführt und gilt für alle folgenden Beurteilungen durch den Cohens Kappa Test. Wenn die Bewertung von beiden Untersuchern übereinstimmt, ist $K = 1$. Sofern sich nur Übereinstimmungen zwischen den beiden Untersuchern feststellen lassen, die mathematisch dem Ausmaß des Zufalls entsprechen, nimmt es einen Wert von $K = 0$ an.

$K \geq 0,1$	Keine Übereinstimmung
$0,1 < K \leq 0,4$	Schwache Übereinstimmung
$0,4 < K \leq 0,6$	Deutliche Übereinstimmung
$0,6 < K \leq 0,8$	Starke Übereinstimmung
$0,8 < K \leq 1$	(fast) vollständige Übereinstimmung

Tabelle 23: Bedeutung des Cohens Kappa Koeffizient

4.5.2. Beurteilung der Dokumentationsfotos durch zwei Untersucher

Von allen Restaurationen wurden zusätzlich Fotos erstellt. Diese dienen einerseits zur Dokumentation des Zustandes der Gebisse und Restaurationen. Da inzwischen bekannt ist, dass digitale Fotografie die Diagnostik verstärken kann, wurden die Fotos im Nachhinein nach denselben Kriterien wie klinisch ebenfalls erneut von Untersucher 1 bewertet. Von insgesamt 119 Prüfvollständigen wurde nur einmal klinisch mit alpha und auf den Fotos mit bravo bewertet und in einem einzigen anderen Fall genau andersrum klinisch mit bravo und auf den Fotos mit alpha. Ansonsten war die Übereinstimmung fast vollständig, was der **Cohen Kappa Koeffizient von 0,881** bestätigt.

74 | BEURTEILUNG DER REM-AUFNAHMEN DURCH ZWEI UNTERSUCHER

		Abplatzung Fotos Untersucher 1			
		Alpha	Bravo	Charlie	Delta
Abplatzung klinisch Untersucher 1:	Alpha	109	1	0	0
	Bravo	1	7	0	0
	Charlie	0	0	1	0
	Delta	0	0	0	0

Kreuztabelle 24: Übereinstimmung der Bewertung der klinischen Abplatzungen und der anhand der Dokumentationsfotos bewerteten Abplatzungen durch Untersucher 1, Cohens Kappa Test

Auch Untersucher 2 beurteilte die Fotos der 119 Prüfzähne unabhängig von den Ergebnissen von Untersucher 1. In 114 Fällen wurden die Abplatzungen gleich beurteilt, während bei 5 Restaurationen eine unterschiedliche Bewertung gegen wurde. Der **Cohen Kappa Koeffizient von 0,651** steht dennoch für eine starke Übereinstimmung bei diesem Test.

		Abplatzung Fotos Untersucher 2			
		Alpha	Bravo	Charlie	Delta
Abplatzung Fotos Untersucher 1	Alpha	109	1	0	0
	Bravo	3	5	0	0
	Charlie	1	0	0	0
	Delta	0	0	0	0

Kreuztabelle 25: Übereinstimmung der Bewertung der Dokumentationsfotos durch Untersucher 1 und 2, Cohens Kappa Test

4.5.3. Beurteilung der REM-Aufnahmen durch zwei Untersucher

Von allen Patienten, die innerhalb der Studien untersucht wurden, wurden Präzisionsmodelle von Restauration und Antagonisten erstellt. Aus diesen wurden 5 Patienten, bei deren Versorgung eine Abplatzung diagnostiziert wurde, und 5 Patienten mit anstandslosen Restaurationen ausgewählt. Sowohl von der Versorgung als auch von den Antagonisten wurden daraufhin Bilder im Rasterelektronenmikroskop angefertigt. Somit wurden insgesamt 22 Prüfzähne auf REM Aufnahmen auf Abplatzungskriterien untersucht und mit den klinischen Ergebnissen verglichen. Dadurch war eine Stichprobe möglich, ob klinisch möglicherweise leicht Defekte oder sogar Abplatzungen übersehen werden können. Von allen 22 geprüften Zähnen wurde überraschender Weise einmal klinisch eine Abplatzung diagnostiziert, die sich auf den

75 | BEURTEILUNG DER REM-AUFNAHMEN DURCH ZWEI UNTERSUCHER

REM Bildern nicht bestätigte, aber keine Abplatzung war klinisch übersehen worden. Daher war auch die Übereinstimmung bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,868** fast vollständig.

		Abplatzung REM Untersucher1			
		Alpha	Bravo	Charlie	Delta
Abplatzung klinisch Untersucher 1	Alpha	17	0	0	0
	Bravo	1	3	0	0
	Charlie	0	0	1	0
	Delta	0	0	0	0

Kreuztabelle 26: Übereinstimmung der Bewertung der klinischen Abplatzungen und der anhand der Rasterelektronenaufnahmen bewerteten Abplatzungen durch Untersucher 1, Cohens Kappa Test

Erneut unabhängig von Untersucher 1 hat auch der erfahrene Untersucher 2 die REM Bilder der Prüfzähne auf Risse, Abplatzungen oder Oberflächendefekte überprüft. Bei einer fast vollständigen Übereinstimmung mit Untersucher 1 bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,837** wurde nur ein versorgter Zahn unterschiedlich bewertet.

		Abplatzung REM Untersucher 2			
		Alpha	Bravo	Charlie	Delta
Abplatzung REM Untersucher 1	Alpha	18	0	0	0
	Bravo	1	2	0	0
	Charlie	0	0	1	0
	Delta	0	0	0	0

Kreuztabelle 27: Übereinstimmung der Bewertung der Rasterelektronenmikroskop-Proben bezüglich Abplatzungen durch Untersucher 1 und 2, Cohens Kappa Test

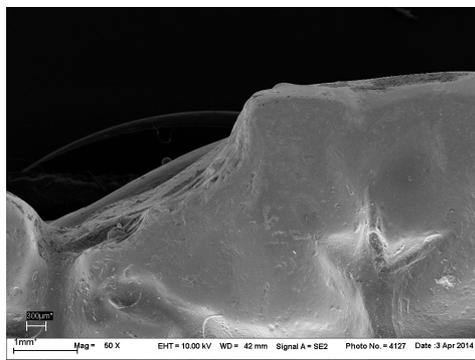


Abbildung 15: REM-Aufnahme einer Verblendfraktur (Testgruppe 1) in 50facher Vergrößerung (50X041)

4.5.4. Übereinstimmung der Bewertung der Dokumentationsfotos und der REM-Aufnahmen

Untersucher 1 beurteilte sowohl die Dokumentationsfotos als auch die Rasterelektronenmikroskop-Proben von 22 Prüfzähnen bezüglich der Abplatzungskriterien, was einen Vergleich der Ergebnisse der beiden Diagnostikmedien ermöglichte. Anhand der Fotos wurde entgegen der Erwartungen sogar eine Verblendfraktur mehr diagnostiziert. Die Übereinstimmung war aber ansonsten fast vollständig bei einem **Cohens Kappa Koeffizient von 0,868**.

		Abplatzung REM Untersucher 1			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Abplatzung Fotos Untersucher 1	Romeo	17	0	0	0
	Sierra	1	3	0	0
	Tango	0	0	1	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 28: Bewertung der Abplatzungen anhand der Dokumentationsfotos im Vergleich zu den REM-Aufnahmen durch Untersucher 1, Cohens Kappa Test

Die Untersuchungsergebnisse der Fotos und der REM-Bilder von Untersucher 2 wurden ebenfalls verglichen. Auch hier wurde bei einer Versorgung ein leichter Mangel auf den Fotos diagnostiziert, der im Rasterelektronenmikroskop nicht als Abplatzung eingestuft wurde. Allerdings war auch auf den REM-Bildern ein größerer, nicht mehr korrigierbarer Mangel erkannt worden, der auf den Fotos als ohne Beanstandung angegeben wurde. Der Cohens **Kappa Koeffizient von 0,624** steht für eine starke Übereinstimmung.

		Abplatzung REM Untersucher 2			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Abplatzung Fotos Untersucher 2	Romeo	18	0	1	0
	Sierra	1	2	0	0
	Tango	0	0	0	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 29: Bewertung der Abplatzungen anhand der Dokumentationsfotos im Vergleich zu den REM-Aufnahmen durch Untersucher 2, Cohens Kappa Test

4.6. Oberflächenqualität der Restaurationen

Da schlechtere Oberflächenqualität die Wahrscheinlichkeit einer Abplatzung der Verblendkeramik erhöht, lag dieses Untersuchungskriterium ebenfalls im Fokus der Nachuntersuchung. Wie bei den Abplatzungen wurde auch die Oberflächenqualität klinisch von Untersucher 1 überprüft, wogegen die Dokumentationsfotos und die Bilder des Rasterelektronenmikroskops sowohl von Untersucher 1 als auch Untersucher 2 unabhängig voneinander beurteilt wurden. Somit ist auch hier ein Vergleich der Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Untersucher mit Hilfe des Cohen Kappa Koeffizients möglich. Außerdem war interessant, ob klinisch eine andere Bewertung der Oberfläche erfolgte als auf den Fotos und den Bildern des Rasterelektronenmikroskop.

4.6.1. Klinische Bewertung der Oberflächenqualität

Von den 119 Prüfzähnen wiesen 104 Versorgungen (87,4%) klinisch mit Spiegel und Sonde beurteilt eine maximal vergütete und glatte Oberflächenstruktur auf. Eine leicht raue Oberfläche mit jedoch vollständig korrigierbaren Mängeln befundete Untersucher 1 bei 14 Restaurationen (11,8%). Deutliche Oberflächendefekte, die nicht vollständig korrigierbar sind, wurden nur bei einer Versorgung festgestellt. Somit waren es im Vergleich zu den klinisch beobachteten Abplatzungen 6 Prüfzähne zusätzlich, die betreffend der Oberflächenstruktur als klinisch auffällig eingestuft wurden.

	Prüfzahn
Oberflächenqualität klinisch	N=119
Romeo	104 (87,4%)
Sierra	14 (11,8%)
Tango	1 (0,8%)

Tabelle 30: Klinische Beurteilung der Oberflächenqualität der Prüfzähne

Im Vergleich zwischen den beiden Testgruppen gab es keine signifikanten Unterschiede.

Allerdings ist bei näherer Betrachtung auffällig, dass aus Testgruppe 1 13 Prüfzähne mit leicht

78 | BEURTEILUNG DER DOKUMENTATIONSFOTOS DURCH ZWEI UNTERSUCHER

rauer, aber noch korrigierbarer Oberfläche (Sierra) eingestuft wurden. Dagegen ist in Testgruppe 2 nur ein Prüfzahn mit Sierra bewertet und ein anderer Prüfzahn hatte einen deutlichen, nicht mehr ganz korrigierbaren Oberflächendefekt (Tango). Wie bei den Abplatzungen sind also auch hier in Testgruppe 1 im Verhältnis etwas mehr kleinere Mängel zu finden, wofür aber in Testgruppe 2 der vorliegende Defekt größer zu sein scheint.

	Testgruppe 1	Testgruppe 2	Standard-abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Oberfläche klinisch:	N=94	N=26	0,366	0,446
Romeo	81 (86,2%)	24 (92,3%)		
Sierra	13 (13,8%)	1 (3,85%)		
Tango	0 (0,0%)	1 (3,85%)		

Tabella 31: Klinische Beurteilung der Oberflächenqualität der Prüfzähne von Testgruppe 1 und 2

4.6.2. Beurteilung der Dokumentationsfotos durch zwei Untersucher

Die Fotos wurden im nachhinein nach denselben Kriterien wie klinisch ebenfalls erneut von Untersucher 1 bewertet. Während klinisch 87,4% als maximal vergütet und glatt befundet wurden, waren es auf den Fotos nur noch 68,1%. Dagegen konnte Untersucher 1 auf den Fotos bei 28,6% leichte, aber noch korrigierbare Mängel finden. Im Vergleich zu der klinischen Einschätzung wurden 3 Restaurationen mehr auf den Fotos als nicht mehr vollständig korrigierbar und mit deutlichen Oberflächendefekten eingestuft.

	Prüfzahn
Oberflächenqualität Fotos Untersucher 1:	N=119
Romeo	81 (68,1%)
Sierra	34 (28,6%)
Tango	4 (3,3%)

Tabella 32: Bewertung der Oberflächenqualität der Prüfzähne

Von insgesamt 119 Prüfzähnen wurden 85 klinisch mit Spiegel und Sonde und auf den vergrößerten Dokumentationsfotos gleich bewertet, wogegen 43 unterschiedlich beurteilt wurden. Auffällig ist hier, dass 27 Versorgungen, die klinisch als ohne Beanstandung

79 | BEURTEILUNG DER REM-PROBEN DURCH ZWEI UNTERSUCHER

eingeschätzt wurden, auf den Fotos vom selben Untersucher mit leichten Mängeln befundet wurden. Eine schwache Übereinstimmung mit einem niedrigen **Cohen Kappa Koeffizient von 0,243** ist die Folge.

		Oberfläche Fotos Untersucher 1			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Oberfläche klinisch Untersucher 1	Romeo	76	27	1	0
	Sierra	4	8	2	0
	Tango	0	0	1	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 33: Übereinstimmung der klinischen Bewertung der Oberflächenqualität und der Bewertung anhand der Dokumentationsfotos durch Untersucher 1, Cohens Kappa Test

Untersucher 2 beurteilte ebenfalls unabhängig von Untersucher 1 die Dokumentationsfotos bezüglich den Oberflächenkriterien. Eine deutliche Übereinstimmung bei einem **Cohens Kappa Koeffizient von 0,560** war vorhanden, allerdings bewertete Untersucher 2 28 von 119 Restaurationen unterschiedlich. Auffällig war hier die kritischere Bewertung von 26 Versorgungen mit Sierra statt Romeo.

		Oberfläche Fotos Untersucher 2			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Oberfläche Fotos Untersucher 1	Romeo	53	26	0	0
	Sierra	1	34	0	0
	Tango	0	1	3	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 34: Übereinstimmung der Beurteilung der Oberflächenqualität anhand der Dokumentationsfotos durch Untersucher 1 und 2, Cohens Kappa Test

4.6.3. Beurteilung der REM-Proben durch zwei Untersucher

Die Oberflächenstruktur von insgesamt 22 Prüfzähnen wurde anhand Rasterelektronenmikroskopaufnahmen der zugehörigen Präzisionsmodelle untersucht und mit den klinischen Ergebnissen verglichen. Die Prüfzähne waren von 5 Patienten, bei deren Versorgung eine Abplatzung diagnostiziert wurde, und 5 Patienten mit anstandslosen Restaurationen ausgewählt. Dadurch war eine Stichprobe möglich, ob klinisch möglicherweise

80 | BEURTEILUNG DER REM-PROBEN DURCH ZWEI UNTERSUCHER

leicht Oberflächendefekte übersehen werden können. Von allen 22 geprüften Zähnen wurden tatsächlich 7 Versorgungen auf den REM Bildern als mit leichten aber korrigierbaren Mängeln eingestuft, die klinisch als beanstandungslos befundet worden waren. Die Übereinstimmung bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,391** war daher schwach und unterstreicht die deutlich exaktere Bewertungsmöglichkeit mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops.

		Oberfläche REM Untersucher 1			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Oberfläche klinisch Untersucher 1	Romeo	9	7	0	0
	Sierra	0	4	1	0
	Tango	0	0	1	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 35: Übereinstimmung der klinischen Beurteilung und der Bewertung anhand der REM-Aufnahmen der Oberflächenqualität durch Untersucher 1, Cohens Kappa Test

Unabhängig von Untersucher 1 hat auch der erfahrenere Untersucher 2 die REM Bilder der 22 Prü fzähne auf erkennbare Oberflächendefekte überprüft und entsprechend der oben genannten Einteilung bewertet. Trotz einer starken Übereinstimmung mit Untersucher 1 bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,601** wurden 5 Aufnahmen unterschiedlich bewertet.

		Oberfläche REM Untersucher 2			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Oberfläche REM Untersucher 1	Romeo	6	3	0	0
	Sierra	2	9	0	0
	Tango	0	0	2	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 36: Übereinstimmung der Beurteilung der REM- Aufnahmen von Untersucher 1 und 2, Cohens Kappa Test

4.6.4. Übereinstimmung der Bewertung der Dokumentationsfotos und der REM-Aufnahmen

Untersucher 1 beurteilte sowohl die Dokumentationsfotos als auch die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von 22 Prüfzähnen. Bei einer deutlichen Übereinstimmung bei einem **Cohens Kappa Koeffizient von 0,458** wurden 15 Restaurationen gleich beurteilt und 7 Versorgungen unterschiedlich. Auf den REM-Aufnahmen wurde die Oberfläche von 5 Prüfzähnen als leicht rau, jedoch korrigierbar eingestuft (Sierra), die auf den Fotos als maximal glatt und vergütet wirkten.

		Oberfläche REM Untersucher 1			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Oberfläche Fotos Untersucher 1	Romeo	7	5	0	0
	Sierra	2	6	0	0
	Tango	0	0	2	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 37: Bewertung der Oberflächenqualität durch Untersucher 1 anhand der Dokumentationsfotos im Vergleich zu den REM-Proben, Cohens Kappa Test

Bei Untersucher 2 gab es im Vergleich der Ergebnisse der Fotos und der REM-Aufnahmen keine Übereinstimmung bei einem **Cohens Kappa Koeffizient 0,008**. Von 22 Proben wurden nur 10 auf beiden Diagnostikmedien gleich bewertet. Auffällig ist hier, dass sowohl 6 REM-Bilder mit leichten Mängeln beurteilt wurden, die auf den Fotos maximal glatt erschienen, als auch 5 Restaurationen auf den Fotos bezüglich der Oberflächenqualität schlechter bewertet wurden als auf den REM-Aufnahmen.

		Oberfläche REM Untersucher 2			
		Romeo	Sierra	Tango	Viktor
Oberfläche Fotos Untersucher 2	Romeo	3	6	0	0
	Sierra	5	6	1	0
	Tango	0	0	1	0
	Viktor	0	0	0	0

Kreuztabelle 38: Bewertung der Oberflächenqualität durch Untersucher 2 anhand der Dokumentationsfotos im Vergleich zu den REM-Proben, Cohens Kappa Test

4.7. Marginale Randqualität und Sekundärkariesanfälligkeit

Bei jeder Versorgung der Kronen- und Brückenpfeiler der Probanden wurde der Restaurationsrand während der klinischen Nachuntersuchung sondiert und dementsprechend nach dem oben genannten Einteilungsschema bewertet. Da die Wahrscheinlichkeit eines kariösen Defekts im Randbereich durch einen vorhandenen Randspalt deutlich erhöht wird, liegt eine gemeinsame Betrachtung beider Untersuchungskriterien nahe. Bei 91,2% der Prüfvzähne war ein minimaler Rand tastbar, während nur bei 8,8 % der Kronen- und Brückenpfeiler der Restaurationsrand nicht sondierbar war. Ein massiv tastbarer Randspalt („Charlie“) oder ein Kronenrand, unter den die Sonde eindringen konnte („Delta“), wurde bei keinem der untersuchten Prüfvzähne diagnostiziert. Bei 7 (6,8%) der 102 untersuchten Pfeilerzähne wurde eine oberflächliche Entkalkung oder ein „white spot“ am Restaurationsrand bemerkt, während nur bei einer Versorgung klinisch eine Karies diagnostiziert wurde, die mittels einer Füllungstherapie behandelt werden musste. 6 der oberflächlichen Entkalkungen wurden jedoch bei demselben Patienten diagnostiziert, was eine schlechte Mundhygiene oder hohes Kariesrisiko vermuten lässt.

	Prüfvzahn
Marginale Randqualität	N=102
Alpha	9 (8,8%)
Bravo	93 (91,2%)
Sekundärkaries	N= 102
Alpha	94 (92,1%)
Bravo	7 (6,8%)
Charlie	0 (0,0%)

Tabelle 39: Marginale Randqualität der Prüfvzähne

Im Vergleich der beiden Studententestgruppen zueinander ergaben sich bezüglich der Kriterien zur marginalen Randqualität und Sekundärkariesdiagnostik keine signifikanten Auffälligkeiten. Allerdings konnten in Testgruppe 2 alle geprüften Restaurationsränder an manchen Stellen minimal tastbar sondiert werden (Bravo) und alle 9 Versorgungen mit nicht sondierbaren Rändern (Alpha) stammten aus Testgruppe 1.

	Testgruppe 1	Testgruppe 2	Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Marginale Randqualität	N=79	N=23	0,285	0,092
Alpha	9 (11,4%)	0 (00,0%)		
Bravo	70 (88,6%)	8 (100,0%)		
Sekundärkaries	N=94	N=25	0,296	0,578
Alpha	87 (92,6%)	24 (96,0%)		
Bravo	7 (7,4%)	0 (0,0%)		
Charlie	0 (0,0%)	1 (4,0%)		

Tabelle 40: Vergleich der marginalen Randqualität und Sekundärkariesanfälligkeit der Prüfväher beider Testgruppen

4.8. Ästhetische Farbanpassung und Integration

Sowohl Farbe und Transluzenz als auch die Integration der Form der Kronen und Brücken wurden im Vergleich zu den Nachbarzähnen von Untersucher 1 klinisch beurteilt. Bei ungefähr der Hälfte (47,9%) der Prüfväher war zwischen Restauration und Nachbarzähnen kein Unterschied in Farbe und Transluzenz wahrnehmbar (Alpha), während bei dem überwiegenden Rest (49,6%) ein leichter Unterschied, der sich jedoch noch im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe bewegt (Bravo), bemerkt wurde. Nur bei 2,5% der Restaurationen war der Farbunterschied deutlich wahrnehmbar und nicht mehr im Rahmen einer natürlichen Farbanpassung. Von 119 Versorgungen fügten sich 111 (93,3%) harmonisch in die umliegenden anatomischen Gegebenheiten wie Nachbarzähne, Antagonisten und Gingiva ein. Keine der Restaurationen wurde von Untersucher 1 als unterkonturiert empfunden, wogegen aber 8 Prüfväher (6,7%) als überkonturiert angegeben wurden.

	Prüfvahr
Farbanpassung	N=119
Alpha	57 (47,9%)
Bravo	59 (49,6%)
Charlie	3 (2,5%)
Integration der Restauration in die Zahnreihe	N= 119
Alpha	111 (93,3%)
Charlie	8 (6,7%)

Tabelle 41: Farbanpassung und Integration der Restaurationen der Prüfväher in die Zahnreihe

84 | ÄSTHETISCHE FARBANPASSUNG UND INTEGRATION

Besonders interessant war die ästhetische Beurteilung der beiden Testgruppen im Vergleich zueinander. Sowohl betreffend der Zahnfarbe und Transluzenz (p-Wert: 0,045) als auch bezüglich der Restaurationsform (p-Wert: 0,038) ergaben sich signifikant unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Restaurationen aus Testgruppe 1 und 2. Während bei 53,2% der Prüfväher aus Testgruppe 1 kein Unterschied in Farbe und/oder Transluzenz zwischen Nachbarzähnen und Restauration wahrnehmbar war, war die nur bei 28,0% der Kronen und Brücken aus Testgruppe 2 der Fall. Dagegen fiel bei 72,0% der Restaurationen aus Testgruppe 2, aber nur bei 43,6% der Versorgungen aus Testgruppe 1, eine noch akzeptable Abweichung zur Zahnfarbe der Nachbarzähne auf. Alle 3 Restaurationen mit deutlich wahrnehmbarem Unterschied, der sich nicht mehr im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe bewegt, stammten aus Testgruppe 1. Bezüglich der Zahnform schnitten ebenfalls die Prüfväher aus Testgruppe 2 etwas schlechter ab, da 16% der Versorgungen überkonturiert erschienen. Innerhalb Testgruppe 1 waren es nur 3,4%.

	Testgruppe 1	Testgruppe 2	Standard- abweichung	p-Wert Mann Whitney U Test
Farbanpassung	N=94	N=25	0,548	0,045
Alpha	50 (53,2%)	7 (28,0%)		
Bravo	41 (43,6%)	18 (72,0%)		
Charlie	3 (3,2%)			
Integration der Restauration in die Zahnreihe	N=94	N=25	0,503	0,038
Alpha	90 (95,7%)	21 (84,0%)		
Charlie	4 (3,4%)	4 (16,0%)		

Tabelle 42: Vergleich der Farbanpassung und Integration der Restauration in die Zahnreihe der Prüfväher beider Testgruppen

5. Diskussion

Ziel dieser retrospektiven klinischen Studie war die Langzeituntersuchung von Restaurationen aus monolithischem Lithiumdisilikat (Testgruppe 2) im Vergleich zu Kronen und Brücken mit geschichteter Verblendkeramik auf Zirkonoxidgerüsten (Testgruppe1). Hierbei wurden sowohl biologische als auch technische Parameter der beiden Materialgruppen untersucht, besonders im Fokus waren jedoch das Ermüdungsverhalten sowie die dementsprechende Chipping-Rate und die damit korrelierende Oberflächenqualität. Da Abplatzungen oft mit geschichteter Verblendkeramik auf Zirkonoxidgerüsten in Verbindung gebracht werden, sollte geprüft werden, ob Versorgungen aus monolithischem Lithiumdisilikat möglicherweise eine verlässlichere und somit bessere Alternative bieten. Durch eingehende Untersuchung der Oberflächenqualität konnten Rückschlüsse auf den Zusammenhang mit „Chipping“ gezogen werden. Hierfür fand neben der klinischen Untersuchung durch Untersucher 1 auch eine zusätzliche nachträgliche Beurteilung der Dokumentationsfotos und der REM Bilder durch Untersucher 1 und 2 statt, was sowohl eine Einschätzung der Genauigkeit der verschiedenen Medien zulässt als auch einen Vergleich der Übereinstimmung der beiden Untersucher.

5.1. Material und Methode

5.1.1. Patientenklientel

Von den ursprünglich 46 Teilnehmern, die in der Zeit von 2004 bis 2007 mit 158 Kronen und Brückengliedern versorgt worden waren, konnten noch 33 Patienten einbestellt werden und deren 121 versorgte und ersetzte Zähne beurteilt werden. Die Recallrate betrug somit nach im Mittel 7 Jahren (83,4 Monaten) 71,74%. Eine Begründung hierfür könnte sein, dass viele der Studienteilnehmer langjährige Patienten von Untersucher 2 waren, die über die Zeit eine merkbar persönliche Verbindung zu dem Behandler aufgebaut hatten. Eine mindestens als durchschnittlich eingestufte Mundhygiene sowie parodontal gesunde Zähne waren Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie. Dennoch ist das Selbstmanagement von Patient zu Patient selbstverständlich unterschiedlich und zu Studienbeginn nicht immer auf Dauer

vorauszusagen und einzuschätzen. Dies kann statistische Ausreißer zur Folge haben, die bei einer kleinen Studienteilnehmerzahl schnell die Werte verfälschen können. Eine hohe Teilnehmerzahl ist wie für jede andere Studie immer von Vorteil, um möglichst allgemein gültige Ergebnisse präsentieren zu können. [34] Es ist somit möglich, dass bei mehr Studienteilnehmern oder einer Recallrate von 100% mehr signifikante Ergebnisse die Folge wären. Zusätzlich wären auch andere Überlebens- und Komplikationsraten möglich, wenn beispielsweise alle Restaurationen der nicht erreichten Patienten ein Erfolg oder Misserfolg wären, wodurch eine gewisse für diese Art von klinischer Studie typische Grauzone entsteht. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die Teilnehmeranzahl der vorliegenden Untersuchungen sowie die Recallrate für eine universitäre Studie relativ hoch sind und in der aktuellen S3-Leitlinie „Vollkeramische Kronen und Brücken“ bereits Studien ab 15 teilnehmenden Personen als aussagekräftig gewertet werden. [11]

5.1.2. Studienaufbau

In der vorliegenden Studie werden zwei Materialgruppen, die beide aus dem Bereich der vollkeramischen Kronen und Brücken stammen, bezüglich ihrer biologischen und technischen Parameter und deren Komplikationsrate miteinander verglichen. Es kann diskutiert werden, dass eine Kontrollgruppe wie zum Beispiel Metall-Keramik den Erfolg der Testmaterialien noch zusätzlich veranschaulicht hätte. Es wurde jedoch bereits in zahlreichen anderen Studien nachgewiesen, dass vollkeramische Restaurationen vergleichbare Langzeitergebnisse erzielen wie Versorgungen aus Metall-Keramik. [1, 11, 34] Da die ästhetischen Ergebnisse vollkeramischen Zahnersatzes jedoch die der metall-keramischen Restaurationen in den Schatten stellen, ist die Forschung innerhalb keramischer Werkstoffe in den Fokus gerückt. [1] Weiterhin ist anzumerken, dass manche Patienten mehr Versorgungen eingesetzt bekamen als andere. Somit können beispielweise Mundhygiene, individuelles Kariesrisiko oder leichter Bruxismus dieser Patienten die Ergebnisse mehr beeinflussen als die anderer Teilnehmer mit weniger Versorgungen. Mit einer einheitlichen Aufteilung der Restaurationen unter den Patienten würden sich die statistischen Ergebnisse möglicherweise besser auf die

Gesamtbevölkerung übertragen lassen, da jedoch jeder Patient unterschiedliche Versorgungen benötigt, war eine exakt einheitliche Aufteilung in der Praxis schwer umzusetzen.

Innerhalb der Studie wurden die Ergebnisse der geprüften Zähne häufig mit natürlichen und unversorgten Referenzzähnen verglichen. Auch bei mehreren versorgten oder ersetzten Zähnen wurde jeweils ein Referenzzahn pro Patient untersucht, was zu einer niedrigeren Gesamtzahl der Referenzzähne im Vergleich zu den Prü fzähnen führt. Aus statistischer Sicht wäre eine ausgewogene Aufteilung von Prüf- und Referenzzähnen für die Tests ideal und kann für zukünftige Studien in Betracht gezogen werden.

Das Expertenteam um Untersucher 2 war von Anfang an führend an den Forschungsinitiativen der geprüften Indikationen der vollkeramischen Materialien beteiligt und daher waren zum Zeitpunkt der ersten Eingliederungen die Testmaterialien der Studie noch weniger erschlossen als zum Studienende. Daher kann eine Lernkurve bezüglich der Werkstoffverarbeitung oder der präprothetischen Vorbereitungsmaßnahmen über die Zeit der zwischen 2004 und 2007 eingesetzten Versorgungen nicht ausgeschlossen werden. So konnte beispielweise in den Anfängen verfahrensbedingt noch keine streng anatomische Gerüstgestaltung vorgenommen werden, wogegen diese später durchgeführte Konstruktionsform die Bruchlast um ca. 30% steigerte und das Risiko von Chipping erheblich senkte. [1, 2, 108] Auch noch nicht ideal angepasstes Gerüstdesign, disharmonisch abgestimmte Wärmeausdehnung sowie unausgewogenen Schichtstärken zwischen Gerüst- und Verblendwerkstoff wurden Schritt für Schritt optimiert und verbessert. [11, 66] Wenn von Studienbeginn an bei allen Restaurationen alle Kriterien des heutigen Wissenstandes beachtet und umgesetzt hätten werden können, wären mit großer Wahrscheinlichkeit noch bessere Überlebensraten erreicht worden.

Die klinische Untersuchung der Kronen und Brücken wurde von einem kalibrierten Behandler durchgeführt, der nicht an der Herstellung und Eingliederung der Versorgungen beteiligt war. Dadurch konnte eine größere Objektivität bei der Beurteilung der Kriterien und Vergabe der Wertungen erreicht werden, als bei der Beurteilung eigenhändig eingesetzten Versorgungen. Die Dokumentationsfotos und die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen wurden sowohl von demselben kalibrierten Untersucher 1 als auch von dem ursprünglichen Behandler (Untersucher 2) bewertet, wobei beide Untersucher unterschiedlich erfahren waren. Während Untersucher 2

als Experte auf dem vorliegenden Gebiet vollkeramischer Restaurationen bereits federführend für mehrfach bahnbrechende Studienergebnisse verantwortlich war und im selben Fachbereich habilitiert hatte, war Untersucher 1 zu Beginn der Untersuchungen noch in der universitären Ausbildung. Tatsächlich war der erfahrenere Untersucher 2 bei der Beurteilung der Oberflächenqualität der Dokumentationsfotos und der REM-Proben etwas kritischer als Untersucher 2, die Abplatzungen der Verblendungen wurden jedoch fast identisch beurteilt. Auf die Übereinstimmung der beiden Untersucher und die daraus folgenden Rückschlüsse für die Praxis wird in der Diskussion der Ergebnisse noch genauer eingegangen.

5.2. Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie unterliegen wie die aller Langzeitstudien in Bezug auf die klinische Untersuchung der Limitation subjektiver Bewertungen und lassen sich deshalb nur unter Vorbehalt mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen.

5.2.1. Biologische Parameter

Betrachtet man die **Gingivaparameter** (PBI, PI, GI und Taschentiefen), so ergeben sich für die vorliegende Studie höchst akzeptable Werte. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die These, dass der Werkstoff Keramik keine negativen Einflüsse auf Gingiva und Pulpa ausübt, da er chemisch inert, das heißt korrosions- und säurestabil ist. [109, 110] So konnte kein vermehrter Attachmentverlust oder erhöhter Entzündungsgrad der Gingiva im Vergleich zu den unrestaurierten Zähnen nachgewiesen werden. Durch schonende Präparationstechniken und die biologisch höchstverträglichen keramischen Materialien war eine Versorgung der Zähne ohne weitere Traumatisierung der Gingiva somit möglich. Die Biokompatibilität beruht auf der Tatsache, dass sich die Bestandteile der Keramik bereits auf einer hohen Oxidationsstufe befinden. Darum wird der Keramik von Zellbiologen und Dermatologen eine hohe Gewebeverträglichkeit attestiert und Patienten, die auf bestimmte Metalle sensibel reagieren, können in vielen Fällen alternativ mit Vollkeramik versorgt werden. [1] Entgegen der Erwartung

war bei den natürlichen Nachbarzähnen von Testgruppe 2 bei 30% eine Blutung bei Sondierung zu beobachten, während nur bei 4,3% der Restaurationen aus monolithischen Lithiumdisilikat eine Blutung festgestellt wurde. Innerhalb derselben Prüfgruppe fiel zudem auf, dass die distalen Sondierungstiefen der natürlichen Referenzzähne höher waren als die der restaurierten Zähne. Während bei den Prü fzähnen die Sondierungstiefe bei den meisten Zähnen 1mm betrug, war bei den Zähnen ohne Versorgung die häufigste Ausprägung 3 und der p-Wert des Mann-Whitney-U Tests mit 0,062 knapp über Signifikanzniveau. Da vermehrte Plaqueanlagerung Gingivitis und damit den BOP begünstigt, könnte der Grund dafür auf die niedrige **Plaqueakkumulation** keramischer Materialien zurückzuführen sein. [111, 112] An glaskeramischen Restaurationen wurde eine geringere Plaqueakkumulation als an Schmelz und Wurzelzement gefunden. [113, 111] Auch in der vorliegenden Studie war die Plaqueanlagerung an den Pfeilerzähnen beider Testgruppen im Vergleich zu den natürlichen Nachbarzähnen signifikant weniger (p-Wert: 0,003). Während bei 58,7% die versorgten Zähne kein Plaque festgestellt wurde, war dies nur bei 30,3% der natürlichen Referenzzähne der Fall. Hierbei lag ein Augenmerk darauf, ob diesbezüglich ein Unterschied zwischen den beiden Testgruppen bewiesen werden konnte. In Testgruppe 1 der IPS e.max ZirCAD mit Verblendkeramik war hierbei wieder eine deutliche Signifikanz zwischen Plaqueakkumulation an Prüf- und Referenzzähnen feststellbar (p-Wert: 0,006). Im Vergleich hierzu war der Unterschied bei Testgruppe 2 (IPS e.max CAD) nicht signifikant, dennoch war auch hier die Plaqueakkumulation an den natürlichen Zähnen deutlich höher als an den restaurierten Zähnen (p-Wert 0,226). Da jedoch der unmittelbare Mann-Whitney-Test zwischen den Prü fzähnen der beiden Testgruppen, ohne die Referenzzähne mit einzubeziehen, nicht signifikant war, scheint der Unterschied der Werkstoffe bezüglich der Plaqueanhaftung nicht ausschlaggebend zu sein. Viel Plaque entlang dem Gingivarand und mit Plaque gefüllte Interdentalräume (Grad 3) wurden bei keinem der Patienten an Prüf- oder Referenzzähnen beobachtet. Dies könnte auch dadurch begründet werden, dass akzeptable Mundhygiene eines der Auswahlkriterien für die Teilnahme an der Studie war. Mehrere Faktoren, die die Plaqueakkumulation an zahnärztlichen Restaurationen beeinflussen, sind bezüglich der niedrigen Plaqueanlagerung an den Studienprü fzähnen zu diskutieren. Da sich eine direkte positive Korrelation zwischen der Oberflächenrauigkeit und

bakterieller Adhäsion erwiesen hat, muss besonders auf eine gute Politur geachtet werden, um der Plaqueretention entgegenzuwirken. [2] Tatsächlich ist die Prozentzahl der Prüfvorhänge mit maximal glatter und vergüteter Oberflächenqualität von Testgruppe 2 mit 92,3% etwas höher als die Prozentzahl von Testgruppe 1 mit 86,2%, was ein möglicher Grund für die etwas höhere Plaqueanlagerung in Testgruppe 2 sein könnte. Auch ein guter Randschluss, ein anatomisches Kronendesign ohne Überkonturierung, sowie die elektrische Leitfähigkeit der Keramikoberfläche spielen eine übergeordnete Rolle. [114] So wird nach einer Studie von *Scarano et al.* eine Titanoberfläche bei gleicher Oberflächenrauigkeit stärker bakteriell besiedelt als tetragonales Zirkoniumdioxid [28]. Auch frühere Studien mit anderen Materialien kamen zu diesem Schluss: Die höchste Plaqueretention wurde gefunden bei gestrahltem Metall, gefolgt von Keramik ohne Glanzbrand, poliertem Metall und glasierter Keramik. [115] Zusätzlich positiv könnte sich auch die zu 78,4%ige isogingivale **Lage der Präparationsgrenzen** der Versorgungen auswirken, da eine subgingivale Lage des Präparationsrandes nur begrenzt eine Kontrolle der Kronenränder zulässt und die Plaqueentfernung in diesen Bereich für den Patienten schwierig macht. Aus ästhetischer Sicht war es nur bei 13,7% der Prüfvorhänge nötig subgingival zu präparieren, während 7,8% sogar supragingival eingesetzt werden konnten. Außerdem muss vermieden werden, dass Befestigungsmaterialien in den Sulkus gelangen, die ähnlich wie überstehende Kronenränder eine weitere Plaqueanlagerung und Irritation des Parodontiums bewirken. [116, 115] In der Summe werden die Vorteile des Einsatzes von Keramiken auch bezüglich der Plaqueretention deutlich, die innerhalb der Studie bestätigt wurden. In jedem Falle ist aber eine gewissenhafte Ausführung der Arbeit notwendig, um keine iatrogenen Plaqueretentionsstellen zu schaffen.

Bezüglich des Pulpazustandes konnten im Vergleich zwischen allen restaurierten Prüfvorhängen und den natürlichen Nachbarzähnen keine signifikanten Unterschiede bewiesen werden. Allerdings mussten zwei versorgte Studienzähne bereits vor dem Untersuchungszeitpunkt entfernt werden. Zu welchem Zeitpunkt die Beschwerden begonnen hatten und wann die Zähne entfernt wurden, war leider nicht mehr eruierbar. Die **Vitalität** der mit Keramik versorgten Zähne war zu 81,0% positiv, während die unversorgten Kontrollzähne zu 90,9% positiv auf den Kältetest reagierten. Nur 3 von allen Prüfvorhängen wurden auf **Perkussion** positiv getestet. Dies spricht für generell pulpaschonende präprothetische Maßnahmen, da pulpitischen

Beschwerden auf herstellungsbedingte Reizung der Pulpa (Präparationsstress, bakterielle Kontamination während der Provisorienphase, thermische Reize, Austrocknung beim Einsetzen, Okklusionsstörung etc.) zurückzuführen sein können, oder durch die Einwirkung des Adhäsivs und Befestigungskomposits verursacht werden können. [117] Vitalitätsverlust und Wurzelkanalbehandlungen als mögliche Folge werden sowohl für Versorgungen aus Metall-Keramik als auch für vollkeramische Restaurationen nicht ausgeschlossen, was als genereller Nachteil einer festsitzenden Versorgung zu betrachten ist. [118, 119] *Otto T.* und *De Nisco S.* machen in ihrer Studie die Beobachtung, dass zwar ein relativ hoher Anteil von Patienten (27%) postoperative Beschwerden beschrieb, die nach dem Abklingen jedoch nicht wieder auftraten. Die Rate der pulpitischen Beschwerden nach dem Einsetzen von CAD/CAM gefertigten Keramikinlays lag im Vergleich zu den Studienergebnissen von laborgefertigten Inlays etwas niedriger. [120, 121] *Reiss B.* begründet das gute Abschneiden der CAD/CAM gefertigten Inlays mit der beim Cerec-System fehlenden Provisorienphase mit Infektionsrisiko für die Pulpa. [122]

5.2.2. Technische Parameter

Beurteilung von Materialermüdung und –verschleiß

Verschleißuntersuchungen mit natürlichen Zähnen als Antagonisten sind kritisch zu bewerten, da Schwankungen im Verschleißverhalten aufgrund unterschiedlicher Physiologie und Anatomie der unterschiedlichen Patienten und ein Übergang von einer **Abrasion** im Schmelzbereich in den Dentinbereich zu beobachten sind. [123] Von den geprüften Zähnen mit keramischer Versorgung wiesen 9,2% klinisch in situ erkennbare Abrasionen auf, während bei 90,7% die Versorgung ohne Beanstandung oder Abnutzung war. Auch wurden klinisch keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen den Abrasionen der Prü fzähne der verschiedenen Testgruppen beobachtet. Es wurde festgestellt, dass die Abrasionen der natürlichen Nachbarzähne mit 29,6% deutlich höher als die Abrasionen der Prü fzähne waren, was einen signifikanten Unterschied ergab (p-Wert 0,005). Auch wenn bei beiden Studienmaterialien die Abrasionen der Referenzzähne ohne Versorgung wesentlich stärker waren als bei den Prü fzähnen, ist der Unterschied nur in Testgruppe 1 (IPS e.max ZirCAD + IPS e.max Ceram)

signifikant (p -Wert: 0,004). Hier konnten bei 8,6% der Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst und Verblendung aus IPS e.max Ceram versorgten Zähne Abrasionen beobachtet werden, während es bei den unversorgten Kontrollzähnen 33,3% waren. In Testgruppe 2 der monolithischen Lithiumdisilikatrestaurationen war der Unterschied nicht signifikant und bei 12,0% der Prü fzähne und 20,0% der Referenz zähne ein Verschleiß der Oberfläche sichtbar. Somit wurde in der vorliegenden Studie bei der klinischen Untersuchung die Abrasion der Lithiumdisilikatversorgungen im Vergleich zu den Nachbarzähnen ohne Versorgung etwas höher eingestuft als die der verblendeten Zirkonoxidrestaurationen.

Eine Kausimulation von Starwarczyk et al. in Zürich zeigte, dass Zahnschmelz und poliertes Zirkonoxid nach 1,2 Millionen Kauzyklen mit Temperaturwechseln ein ähnliches Abrasionsverhalten zeigen. Stärkere Abrasionen zeigten Feldspat-Verblendungen und polierte edelmetallfreie Legierungen. [124] Bei Lithiumdisilikat zeigten Studien ebenfalls schmelzähnliches Abrasionsverhalten. [125] Die Härte des Zirkonoxids korreliert nicht mit dem Abrasionsverhalten, sondern mangelnde Oberflächengüte ist für den schädigenden Einfluss auf seinen tribologischen Partner verantwortlich. [2, 126, 66] Eingeschliffene Areale abradieren somit den Antagonisten merklich stärker. [123] Daher sollten Einschleifmaßnahmen möglichst nur mit Feinkorndiamanten, die eine Körnung von 50 μ m und feiner aufweisen, als auch ohne Druck und unter Wasserkühlung gehandhabt werden. [3] Nach der Feinjustierung sollte bestenfalls ein Glanzbrand oder mindestens eine Politur der Okklusalfäche erfolgen, wogegen bei glasierten Kauflächen in Studien erheblich mehr Abtrag bewiesen wurde. [3, 2, 126]

In der vorliegenden Studie waren bei 43,2% der Antagonisten der Restaurationen Abrasionen sichtbar. Dieser Wert erscheint auf den ersten Blick enorm hoch, wobei auch bei den Antagonisten der Referenz zähne 38,5% sichtbare Abrasionen beobachtet wurden und der Unterschied der Abrasionen von natürlichen Kontrollzähnen und Prü fzähnen nicht signifikant ist (p -Wert: 0,658). Dies wiederum spricht für abrasiven Verschleiß im kompletten Gebiss durch beispielsweise Bruxismus im Schlaf oder Störkontakte und nicht für spezifische Antagonistenabrasion durch die geprü ften vollkeramischen Versorgungen. Auffällig war jedoch, dass bei Antagonisten der Kronen und Brücken aus Lithiumdisilikat (Testgruppe 2) bei 68,0% sichtbare Abrasionen festgestellt wurden, während die Antagonisten der Referenz zähne zu

40,0% abradert waren. Möglicherweise waren in dieser Materialgruppe aus technischen Gründen der Schleifeinheiten mehr Feinjustierungen nötig. Die Oberflächenqualität wurde klinisch in Testgruppe 2 bei 92,3% der Kronen und Brücken als maximal vergütet und glatt eingeschätzt. Anhand der Dokumentationsfotos und der REM-Proben war die Beurteilung der Oberflächenqualität deutlich kritischer, worauf im Folgenden noch genauer eingegangen wird.

Beurteilung der Verbendfrakturen und der Oberflächenqualität

Von insgesamt 119 Prüfvzähnen wurden während der klinischen Untersuchung bei 8 Restaurationen, die alle aus Testgruppe 1 stammten, eine kleine Abplatzung mit Einstufungsgrad bravo festgestellt. Diese leichten Mängel waren jedoch vollständig korrigierbar und störten die Patienten nicht weiter. Nur eine Restauration aus Testgruppe 2 wurde klinisch mit charlie bewertet, da sie eine Fraktur hatte, die nicht vollständig korrigierbar war. Sie blieb in situ, muss jedoch beobachtet werden, um den Schutz der Pfeilerzähne und der umliegenden Strukturen sowie der Funktion der Restauration sicherzustellen. Somit waren 110 von 119 Prüfvzähnen als abplatzungsfrei und ohne Beanstandung eingestuft worden, woraus eine **Chipping-Rate von 7,6%** für alle Prüfvzähne nach 83,4 Monaten (6,95 Jahre) in situ resultiert. Die verblendeten Zirkonoxidgerüste aus Testgruppe 1 hatten eine Chipping-Rate von **8,5%** und die Restaurationen aus Lithiumdisilikat der Testgruppe 2 lagen sogar bei **2,9%**. Dass alle mit bravo bewerteten Abplatzungen aus Testgruppe 1 stammten, bestärkt die These, dass die manuell geschichteten Verblendungen auf Zirkonoxidgerüsten zu Chipping neigen, zumindest in der Frühphase des klinischen Einsatzes von Zirkonoxid. [66] Frühere klinische Studien, die sich ebenfalls mit Glaskeramik verblendeten Zirkonoxidrestaurationen (wie hier in Testgruppe 1) befassten, beschrieben Chipping-Raten zwischen 15% nach 2 Jahren, 9,5% nach 3 Jahren und 15,2% nach 5 Jahren. [127, 128] Somit lag die Chipping-Rate in der vorliegenden Studie derselben Materialklasse aus Testgruppe 1 mit 8,5% nach 7 Jahren vergleichsweise niedrig. Wenn Verblendfrakturen und Entfernung einer Restauration als Misserfolg gewertet werden, liegt die **Erfolgsrate** aller Prüfvzähne zusammen bei **90,9%**. Die Erfolgsrate innerhalb Testgruppe 1 beträgt **90,5%** und innerhalb Testgruppe 2 **92,3%**. Hierbei sind auch die beiden Restaurationen miteingeschlossen, die im Zeitraum vor der Untersuchung entfernt werden mussten. Der

Misserfolg dieser Restaurationen, von denen jeweils eine aus jeder Testgruppe stammte, kann jedoch nicht nachgewiesen im direkten Bezug zu den getesteten Werkstoffen gewertet werden. Zwischenzeitlich wurde erkannt, dass eine höckerunterstützende Gerüstgestaltung, der Verzicht auf mesiale und distale Okklusionskontakte der Randleisten, Verblendstärken bis maximal 1mm und eine Verlängerung der Abkühlungsphase nach jedem Sinterbrand zur Vermeidung von Strukturspannungen das Chipping-Risiko wesentlich reduziert. [3, 52, 66] Der Bruch kann als kohäsives Versagen innerhalb der Verblendkeramik (Chipping), als adhäsives Versagen durch Lösen der Verblendkeramik vom Gerüst oder als Mischform beider Versagensmöglichkeiten auftreten. Klinisch treten Verblendfrakturen daher mit und ohne Exposition des Gerüstmaterials auf. [129] Prof. Dr. Petra Gierthmühlen stellte bei der Literaturdurchsicht fest, dass verblendete Einzelkronen auf Zirkonoxidgerüsten bei 2 bis 9 Prozent der berichteten Fälle nach zwei bis drei Jahren Verblendfrakturen aufwiesen. [130] Bei verblendeten Brücken mit Zirkonoxidgerüst lag die Chipping-Rate bei 3 bis 36 Prozent im Zeitfenster von ein bis fünf Jahren. In In-vitro Studien hatten Güß et al. die Belastbarkeit von Lithiumdisilikat und Zirkonoxid mit Verblendung unter 1.100 Newton Kaudruck gemessen, um die Häufigkeit von Verblendungsfrakturen zu prüfen. Während alle Restaurationen aus Lithiumdisilikat frakturfrei blieben, zeigten 49 Prozent der handgeschichteten Verblendungen auf Zirkonoxidgerüsten Anzeichen von initialen Mikrorissen. [130, 10] Chippings traten in der Kausimulation schon bei 200N Lasteinleitung auf und während einer Belastung von 100000 Zyklen mit jeweils 1195N Kaudruck frakturierten sogar 90% der handgeschichteten Verblendungen. [1] Für Einzelkronen im Seitenzahnbereich aus verblendeten Zirkonoxid-keramiken kann deshalb nach der aktuellen S3-Leitlinie „Vollkeramische Kronen und Brücken“ aufgrund der Datenlage nur eine offene Empfehlung ausgesprochen werden. [107] Die Überlebensraten nach 5 Jahren variieren stark zwischen 79% und 98%. [131, 132] 3-gliedrige Brücken im Seitenzahnbereich aus verblendeten Zirkonoxidkeramiken beliefern über den gleichen Zeitraum Überlebensraten von 90% bis 96,8%. [107] Bei Restaurationen aus monolithischen Lithiumdisilikat entfällt jedoch das Verblendrisiko und klinische Studien nach Fasbinder et al zeigten nach zwei Jahren eine 100 prozentige Überlebensrate. [9, 11] In einer Studie zu 3-gliedrigen Brücken aus monolithischen Lithiumdisilikat von Kern et al. betrug die Überlebensrate nach 5 Jahren 100% und nach 10 Jahren 87,9%. [12] Monolithische

Lithiumdisilikatkeramik ist besonders im Frontzahnbereich eine bewährte Alternative zu verblendeter Zirkonoxidkeramik. 3-gliedrige Brücken aus monolithische Lithiumdisilikatkeramik können laut der aktuellen S5-Leitlinie eingeschränkt nur zur Verwendung bis zum Ersatz des ersten Prämolaren empfohlen werden, da für den Ersatz von weiter posterior fehlenden Seitenzähnen keine Herstellerfreigaben vorliegen. [107]

Da schlechtere Oberflächenqualität die Wahrscheinlichkeit einer Abplatzung der Verblendkeramik erhöht, lag dieses Untersuchungskriterium ebenfalls im Fokus der Nachuntersuchung. Von den 119 Prüfvähnen wiesen 104 Versorgungen (87,4%) klinisch mit Spiegel und Sonde beurteilt eine maximal vergütete und glatte Oberflächenstruktur auf. Eine leicht raue Oberfläche mit jedoch vollständig korrigierbaren Mängeln beobachtete Untersucher 1 bei 14 Restaurationen (11,8%). Dabei ist auffällig, dass 13 dieser Prüfvähne aus Testgruppe 1 stammten und nur eine aus der Materialgruppe der Lithiumdisilikatkronen und -brücken. Deutliche Oberflächendefekte, die nicht vollständig korrigierbar sind, wurden nur bei einer Versorgung aus Testgruppe 2 festgestellt. Somit waren es im Vergleich zu den klinisch beobachteten Abplatzungen 6 Prüfvähne zusätzlich, die betreffend der Oberflächenstruktur als klinisch auffällig eingestuft wurden. Die verblendeten Zirkonoxidrestaurationen (Testgruppe 1) waren zu 86,2% maximal glatt und vergütet und zu 13,8% mit leicht rauer, aber korrigierbarer Oberfläche bewertet worden. Die aus Lithiumdisilikat hergestellten Kronen und Brücken (Testgruppe 2) erschienen klinisch zu 92,3% als anstandslos, zu 3,85% leicht rau und zu ebenfalls 3,85% mit deutlichen Oberflächendefekten. Wie bei den Abplatzungen sind also auch die Oberflächenqualität betreffend in Testgruppe 1 im Verhältnis mehr kleinere Mängel zu finden, wofür aber in Testgruppe 2 der vorliegende Defekt größer zu sein scheint. Zu beachten ist hier allerdings, dass die Anzahl der Prüfvähne aus Testgruppe 2 wesentlich niedriger ist, was auch den nicht signifikanten Unterschied erklärt.

Übereinstimmung der Beurteilungen der beiden Untersucher

Neben dem Röntgenbild hat in den letzten Jahren die Fotodokumentation einen hohen Stellenwert bekommen, weil neben juristischer Absicherung damit eine Dokumentation möglich wird, die bei besonderen Befunden der schriftlichen Form eindeutig überlegen ist. [133] Da inzwischen bekannt ist, dass digitale Fotografie zusätzlich die Diagnostik verstärken kann, wurden die Fotos nach denselben Kriterien wie klinisch erneut von Untersucher 1 bezüglich Abplatzungen und Oberflächenqualität bewertet. Nach dem Abplatzungskriterium wurden von insgesamt 119 Prüfvähen nur 2 Fälle unterschiedlich beurteilt. Davon wurde klinisch eine Abplatzung mehr bemerkt als auf den Fotos und eine andere wurde auf den Fotos bemerkt, aber nicht klinisch. Aus dieser fast vollständigen Übereinstimmung ergab sich ein sehr hoher **Cohens Kappa Koeffizient von 0,881**. Im Vergleich dazu wurde die Oberflächenqualität von nur 85 Versorgungen klinisch mit Spiegel und Sonde und auf den vergrößerten Dokumentationsfotos gleich bewertet, wogegen 43 unterschiedlich beurteilt wurden. Besonders auffällig ist hier, dass 27 Versorgungen, die klinisch als ohne Beanstandung eingeschätzt wurden, auf den Fotos vom selben Untersucher mit leichten Mängeln befunden wurden. Eine schwache Übereinstimmung mit einem niedrigen **Cohen Kappa Koeffizient von 0,243** war daher die Folge. Daraus resultiert, dass Verblendfrakturen bereits klinisch mit Spiegel und Sonde gut diagnostiziert werden können, während die Qualität der Oberflächenstruktur auf Dokumentationsfotos kritischer und möglicherweise exakter bewertet wird. Interessant ist außerdem, ob die Verblendfrakturen und Oberfläche der Versorgungen auf Rasterelektronenmikroskop-Proben der Präzisionsmodelle wiederum genauer beurteilt werden. Somit wurden von Untersucher 1 insgesamt 22 Prüfvähe anhand REM-Proben auf Abplatzungskriterien untersucht und die Ergebnisse im Nachhinein mit den klinischen Ergebnissen seiner Untersuchungen verglichen. Von allen 22 geprüften Zähnen wurde einmal klinisch eine Abplatzung diagnostiziert, die sich auf den REM Bildern nicht bestätigte, aber es war keine Abplatzung klinisch nicht diagnostiziert worden. Daher war auch die Übereinstimmung bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,868** fast vollständig. Es kann somit angenommen werden, dass Chipping bereits bei der klinischen Untersuchung gut erkannt wird und außerdem eine

Untersuchung unter einem Rasterelektronenmikroskop bei bereits vorhandenen Dokumentationsfotos nicht unbedingt nötig ist. Auch die Oberflächenstruktur wurde anhand der Rasterelektronenmikroskopaufnahmen der zugehörigen Präzisionsmodelle untersucht und mit den klinischen Ergebnissen verglichen. Dadurch war eine Stichprobe möglich, ob klinisch möglicherweise leicht Oberflächendefekte übersehen werden können. Von allen 22 geprüften Zähnen wurden tatsächlich 7 Versorgungen auf den REM Bildern als mit leichten, aber korrigierbaren Mängeln eingestuft, die klinisch als maximal glatt und vergütet befundet worden waren. Die Übereinstimmung bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,391** war daher schwach und unterstreicht die deutlich exaktere Bewertungsmöglichkeit mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops im Vergleich zur intraoralen Diagnostik mit Spiegel und Sonde.

Die Ergebnisse einer klinischen Untersuchung unterliegen jederzeit der Limitation subjektiver Bewertungen und lassen sich deshalb nur unter Vorbehalt mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen. Um die Übereinstimmung verschiedener Behandler zu testen, bewertete ein zweiter Untersucher die Dokumentationsfotos nach denselben Kriterien wie Untersucher 1. Interessant war dabei auch, wie stark Erfahrung und Routine der beiden Untersucher, die als Berufsanfängerin und Experte in diesem Forschungsgebiet unterschiedlich erfahren waren, die Beurteilung der Restaurationen beeinflussen. In 114 Fällen wurden die Abplatzungen anhand der Fotos gleich beurteilt, während bei 5 Restaurationen eine unterschiedliche Bewertung erfolgte. Der **Cohen Kappa Koeffizient von 0,651** steht dennoch für eine starke Übereinstimmung bei diesem Test. Erneut unabhängig von Untersucher 1 hat auch der erfahrenere Untersucher 2 die Rasterelektronenmikroskop-Proben der ausgewählten Prüfzähne auf Risse, Abplatzungen oder Oberflächendefekte überprüft. Bezüglich der Verblendfrakturen wurde bei einer fast vollständigen Übereinstimmung mit Untersucher 1 bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,837** nur ein versorgter Zahn unterschiedlich bewertet.

Bei der Einschätzung der Oberflächenqualität anhand der Fotos gab es größere Unterschiede zwischen den Untersuchern als bei den Abplatzungen. Eine deutliche Übereinstimmung bei einem **Cohens Kappa Koeffizient von 0,560** war vorhanden, allerdings bewertete Untersucher 2 im Vergleich zu Untersucher 1 insgesamt 28 von 119 Restaurationen unterschiedlich. Auffällig

war hier die kritischere Bewertung des erfahreneren Untersuchers 2, der 26 Versorgungen, die Untersucher 1 als glatt und maximal vergütet (Romeo) beurteilt hatte, als mit leichten Mängeln einstufte. Untersucher 2 überprüfte auch die REM-Proben der 22 Prüfzähne auf erkennbare Oberflächendefekte, was wiederum einen Vergleich mit den Ergebnissen von Untersucher 1 ermöglichte. Trotz einer starken Übereinstimmung mit Untersucher 1 bei einem **Cohen Kappa Koeffizient von 0,601** wurden 5 Aufnahmen unterschiedlich bewertet. Obwohl ein grundsätzlicher Konsens zwischen den Behandlern vorhanden war, wurde im Vergleich dennoch deutlich, dass die Beurteilung durch subjektive Einschätzung als auch unterschiedlich große Erfahrung und Spezialisierung beeinflusst wird. Unterschiedliche Ergebnisse können die Folge sein.

Effizienz und Reabilität diagnostikverstärkender Hilfsmittel: Fotos vs REM-Aufnahmen

Sowohl Untersucher 1 als auch Untersucher 2 beurteilten die Dokumentationsfotos und die REM-Aufnahmen von 22 Prüfzähnen bezüglich der Abplatzungskriterien und der Oberflächenqualität, was einen Vergleich der Ergebnisse der beiden Diagnostikmedien ermöglichte. Bei den Untersuchungen der Verblendfrakturen war eine starke bis fast vollständige Übereinstimmung in der Beurteilung beider Medien auffällig. Bereits klinisch konnten alle „Chippings“ problemlos diagnostiziert werden und die vorliegende Studie bestätigt, dass eine zusätzliche Untersuchung von REM-Proben bei vorliegenden Dokumentationsfotos kaum diagnostikverstärkend ist. Anhand der Fotos wurde entgegen der Erwartungen sogar von jeweils beiden Untersuchern eine Verblendfraktur mehr diagnostiziert als auf den REM-Aufnahmen.

Im Hinblick auf die Beurteilung der Oberflächenqualität hingegen wurden von beiden Untersuchern auf den stark vergrößerten Bildern des Rasterelektronenmikroskops wesentlich mehr leichte Mängel diagnostiziert als auf den Dokumentationsfotos.

Von Untersucher 1 wurde bei einer deutlichen Übereinstimmung (**Cohens Kappa Koeffizient von 0,458**) die Oberfläche von 5 Prüfzähnen der insgesamt 22 Proben auf den REM-Aufnahmen als leicht rau, jedoch korrigierbar eingestuft (Sierra), die auf den Fotos als maximal glatt und vergütet wirkten. Bei Untersucher 2 gab es im Vergleich der Ergebnisse der Fotos und der REM-

Aufnahmen keine Übereinstimmung bei einem **Cohens Kappa Koeffizient 0,008**, da nur 10 von 22 Proben auf beiden Diagnostikmedien gleich bewertet wurden. Auffällig ist hier, dass sowohl 6 REM-Bilder mit leichten Mängeln beurteilt wurden, die auf den Fotos maximal glatt erschienen, als auch 5 Restaurationen auf den Fotos bezüglich der Oberflächenqualität schlechter bewertet wurden als auf den REM-Aufnahmen. Für eine Einstufung und Beurteilung die Qualität der Oberfläche ist somit eine zusätzliche Betrachtung unterm Rasterelektronenmikroskop aufschlussreich und trotz vorhandener Dokumentationsfotos empfehlenswert.

Lage der Restaurationsgrenze und Sekundärkariesanfälligkeit

Die **Randqualität** einer Restauration hat einen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit, da schlechte Randqualität auch die Anlagerung von Plaque und Bakterien begünstigt und somit das Sekundärkariesrisiko erhöht. [134] Daher wurde bei jeder Versorgung der Kronen- und Brückenpfeiler der Probanden der Restaurationsrand überprüft und auf **Sekundärkaries** kontrolliert. Bei 91,2% der Prü fzähne war der Rand der Versorgungen minimal tastbar, während bei den restlichen Prü fzähnen der Restaurationsrand nicht sondierbar war. Alle Restaurationsränder waren intakt. Die Sondierbarkeit kann sowohl durch überkonturierte Ränder, kleine Randausbrüche z.B. durch präparationsbedingte Schäden an der Keramik, als auch durch Ablösen des adhäsiven Verbunds von der Keramik- oder Zahnklebefläche verursacht sein. [135, 120] *Krämer N. et al. [136]* bzw. *Frankenberger R. et al. [137]*, die die approximalen Restaurationsränder von Keramikinlays unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze ansiedelten, fanden schon nach 4 bzw. 6 Jahren eine vom Befestigungsmaterial unabhängige signifikante Verschlechterung der marginalen Integrität und 79% bzw. 95% der Restaurationen wiesen Randmängel auf. Das im Vergleich sehr gute Ergebnis in der vorliegenden Studie, in der die Ränder aller Prü fzähne intakt waren, könnte auf der - zumindest für damalige Adhäsivsysteme geltenden - deutlich besseren Haftung des Befestigungskomposits an schmelzbegrenzten Kavitätenrändern hinweisen, wie sie auch von *Thonemann B. et al. [138]*, *Bitter K. et al. [8]* und *Kunzelmann K.-H. et al. [139]* proklamiert wurde. Bei 7 (6,8%) der 102 untersuchten Pfeilerzähne wurde eine oberflächliche Entkalkung oder ein „white spot“ am

Restaurationsrand bemerkt. Da 6 dieser oberflächlichen Entkalkungen jedoch bei demselben Patienten diagnostiziert wurden, ist der Grund eher in mangelndem Selbstmanagement bezüglich der Mundhygiene oder hohes Kariesrisiko zu vermuten als in einem Versagen der Restaurationen. Nur bei einer Versorgung wurde klinisch eine Karies diagnostiziert, die mittels einer Füllungstherapie behandelt werden musste. Zusammengefasst wurde in der vorliegenden Studie innerhalb beider Testgruppen sowohl eine höchst zufriedenstellende Randqualität als auch niedrige Sekundärkariesanfälligkeit festgestellt.

Ästhetische Kriterien

Unter dem Aspekt der Ästhetik sind Keramiken die Werkstoffe der ersten Wahl und Zahnärzte und Zahntechniker verstehen es heute Versorgungen aus Keramik zu schaffen, die dem natürlichen Vorbild in Transparenz und Transluzenz sowie Oberfläche und Form in nichts nachstehen. [2] Bei Betrachtung der Prüfvorrichtungen beider Testgruppen war bei ungefähr der Hälfte (47,9%) zwischen Restauration und Nachbarzähnen kein Unterschied in Farbe und Transluzenz wahrnehmbar, während bei dem überwiegendem Rest (49,6%) ein leichter Unterschied, der sich jedoch noch im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe bewegt, bemerkt wurde. Nur bei 2,5% aller Restaurationen war der Zahnersatz in Vergleich zu den restlichen Zähnen deutlich wahrnehmbar und nicht mehr im Rahmen einer natürlichen Farbanpassung. Von 119 Kronen und Brücken fügten sich 111 (93,3%) harmonisch in die umliegenden anatomischen Gegebenheiten wie Nachbarzähne, Antagonisten und Gingiva ein. Keine der Restaurationen wurde klinisch als unterkonturiert empfunden, allerdings wurden 8 Prüfvorrichtungen (6,7%) als überkonturiert angegeben. Besonders interessant war die ästhetische Beurteilung der verblendeten Zirkonoxidgerüste aus Testgruppe 1 (IPS e.max ZirCAD + IPS e.max Ceram) im Vergleich zu den Restaurationen aus Lithiumdisilikat aus Testgruppe 2 (IPS e.max CAD). Sowohl betreffend der Zahnfarbe und Transluzenz (p-Wert: 0,045) als auch bezüglich der Restaurationsform (p-Wert: 0,038) ergaben sich signifikant unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Kronen und Brücken aus Testgruppe 1 und 2. Innerhalb der verblendeten Zirkonoxidversorgungen (Testgruppe 1) waren bei 53,2% der Prüfvorrichtungen kein Unterschied in Farbe oder Transluzenz zwischen Nachbarzähnen und Restauration wahrnehmbar, was bei den Kronen und Brücken aus Lithiumdisilikat (Testgruppe 2) nur bei 28,0% der Fall war. Dagegen fiel bei 72,0% der

Restaurationen aus Testgruppe 2, aber nur bei 43,6% der Versorgung aus Testgruppe 1, eine noch akzeptable Abweichung zur Zahnfarbe der Nachbarzähne auf. Die 3 Restaurationen mit deutlich wahrnehmbarem Unterschied, der sich nicht mehr im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe bewegt, stammten allerdings aus Testgruppe 1. Auch bezüglich der Zahnform schnitten die Prü fzähne aus Testgruppe 2 etwas schlechter ab, da 16% der Versorgung überkonturiert wirkten. Innerhalb Testgruppe 1 waren es nur 3,4%. Auf den ersten Blick überraschen die etwas schlechteren ästhetischen Ergebnisse der Lithiumdisilikatrestaurationen, allerdings muss hierzu beachtet werden, dass diese größtenteils monolithisch eingesetzt worden waren, um das Chippingrisiko zu minimieren. Somit waren sie den handverblendeten Kronen und Brücken mit Zirkonoxidgerüst ästhetisch leicht unterlegen, da für die Erzielung einer perfekten Imitation eines natürlichen Zahns eine geschichtete Verblendung immer noch die erste Wahl ist. [48] Obwohl Lithiumdisilikat für verblendfreie Kronen geeignet ist, können monolithische Rekonstruktionen ästhetische Defizite aufweisen, die dann mit dem gezielten Ergänzen mit transluzenten Verblendmassen ausgeglichen werden sollten. [2] Hierzu bietet sich beispielsweise das Cutback-Verfahren an. [48, 2, 34]

6. Zusammenfassung

Aufgrund der Problematik des "Chippings" und dem Wunsch nach ästhetischen und langzeitstabilen Vollkeramikrestorationen folgend wurden bei insgesamt 33 Patienten 94 Restorationen mit handgeschichteter Verblendkeramik auf Zirkonoxidgerüsten (IPS e.max ZirCAD + IPS e.max Ceram) und 27 Restorationen aus monolithischer Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max CAD) sowohl auf biologische und technische Parameter untersucht. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass, trotz der Erfolgsrate von 90,5% der mit Glaskeramik verblendeten Zirkonoxidgerüste nach 7 Jahren Liegedauer, monolithische Lithiumdisilikatrestorationen mit einer Erfolgsrate von 92,3% deutliche Vorteile vorzuweisen haben. Die gute Biokompatibilität beider vollkeramischen Testgruppen sowie eine geringere Plaqueakkumulation als an natürlichem Schmelz konnte bestätigt werden. In der vorliegenden Studie wurde ein nur geringfügig höheres Verschleißverhalten der Antagonisten der Prüfvorrichtungen festgestellt als das der Antagonisten der natürlichen Referenzzähne, was auf eine konstanten Kontrolle der Oberflächenqualität bei der Eingliederung und den Nachkontrollen der Restorationen basiert. Durch das niedrigere Chipping-Risiko der monolithischen Lithiumdisilikatkronen und ihrer zusätzlich hohen Stabilität als Einzelzahnkronen oder Brücken bis zum Prämolarenbereich stellen sie eine sehr gute Alternative dar, um unter minimalinvasiven Gesichtspunkten den Patienten mit hochqualitativen und wirtschaftlichen Restorationen zu versorgen. Ästhetisch waren die monolithisch eingesetzten Lithiumdisilikatkronen und -brücken den handverblendeten Versorgungen auf Zirkonoxidgerüsten allerdings leicht unterlegen, da für die Erzielung einer perfekten Imitation eines natürlichen Zahns eine geschichtete Verblendung immer noch die erste Wahl ist. Auswertungen der vorliegenden Arbeit bestätigten, dass sowohl das Medium zur Diagnostik als auch die Erfahrung und Spezialisierung der untersuchenden Zahnärzte einen Einfluss auf die Studienergebnisse haben. Bei den Untersuchungen zur Effizienz und Reliabilität diagnostikverstärkender Hilfsmittel wurde deutlich, dass für die Diagnostik der Verblendfrakturen eine zusätzliche Untersuchung von REM-Proben bei vorliegenden Dokumentationsfotos kaum weiterführend war. Für die Beurteilung der Oberflächenqualität war eine zusätzliche mikroskopische Betrachtung aufschlussreich und trotz vorhandener Dokumentationsfotos empfehlenswert.

7. Literaturverzeichnis

1. Kern, M, Schriftführung AG Keramik: Innovative Werkstoffe und CAD/CAM-Verarbeitung.
Digital Dental News 7.Jahrgang, 52-62. (2013).
2. M. Kern, FB, R. J. Kohal, K. H. Kunzelmann, A. Mehl, P. Pospiech, B. Reiss Vollkeramik auf einen Blick.
Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V., Ettlingen. (2015).
3. Beuer, F. Bogna, S: Zirkonoxid-Konsens.
dd Special 12, 90-8. (2007).
4. Beuer, F. Schweiger, J. Edelhoff, D: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations.
Br Dent J 204 (9), 505-11. (2008).
5. H, R. S, Q. Rg, L: CAD/CAM – Neue Technologien und Entwicklungen in Zahnmedizin und Zahntechnik.
DZZ 58 (10), 559-69. (2003).
6. Mehl, A: CAD/ CAM-Fertigungsverfahren- Neue Ansätze und Verfahren.
ZWP Spezial 7, 16-9. (2003).
7. Keramik, A: Marktdaten zur vollkeramischen Restauration, Markterhebung zum Dentalmarkt.
. (2012).
8. Bitter, K, Reister, J. P., Kielbassa, A. M.: Vollkeramische Restaurationen im Seitenzahnbereich - ein aktueller Überblick
Cosmetic dentistry Fachbeitrag 4, 6-10. (2004).
9. Fasbinder, DJ, Dennison, J. B., Heys, D., Neiva, G.: A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns: a two-year report
J AM Dent Assoc 141 Suppl 2, 105-45. (2010).
10. Güß, P: Monolithic CAD/CAM lithium disilicate versus veneered Y-TZP crowns - Comparison of failure modes and reability after fatigue.
Int J Prosthodont 23(5). (2010).
11. Kern, M, AG Keramik: Was hat sich langfristig bewährt, was noch nicht?
Das deutsche Zahnärzteblatt 2015 124, 292-8. (2015).
12. Kern M., SM, Wolfart S.: Ten-year outcome of three-unit fixed dental protheses made from monolithic lithium disilicate ceramic.
J Am Dent Assoc 2012 143, 234-40. (2012).
13. Pröbster, L: Sind vollkermaische Kronen und Brücken wissenschaftlich annerkannt?
Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK. (2003).
14. Anusavice, K: Degradability of dental ceramics.
Adv Dent Res 6, 82-9. (1992).
15. Chan, C. Weber, H: Plaque retention on teeth restored with full-ceramic crowns: A comparative study.
The Journal of Prosthetic Dentistry 12// 56 (6), 666-71. (1986).

16. Haselton D.R., D-AAM, Hillis S.L.: Clinical assessment of high-strength all-ceramic crowns.
J Prosthet Dent 83, 396-401. (2000).
17. Kerschbaum, T, Faber, F.J., Noll, F.J., Keiner, M., Hürther, W., Schumacher, S., Keller, E.:
Komplikationen von Cercon-Restaurationen in den ersten fünf Jahren.
Dtsch Zahnärztl Z 64, 81-9. (2009).
18. Denry, I, Kelly, J.R. : State of the art of zirconia for dental applications.
Dent Mater 24, 299-307. (2008).
19. Haas, M. Wegscheider, WA. Bratschko, RO. Pfeiffer, K. Kuderna, F: Comparison of
margin in metal and non-metal ceramic crowns.
Quintessenz Apr 39 (4), 625-33. (1988) PubMed PMID: 3059391. Der Randspalt von metall-
und nichtmetallgetragenen Keramikkrone im Vergleich.
20. Hoffmann-Axthelm, W: Geschichte der Zahnheilkunde.
Quintessenz Verlag, Berlin. (1974).
21. Kappert, HF. Eichner, K: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart. (2008).
22. Land, CH: Porcelain dental art.
Dent Cosmos 45, 437-44. (1903).
23. Hahn, R, Löst, C.: Konventionelle Dentalporzellane versus bruchzähne
Hochleistungskeramiken.
Dtsch Zahnärztl Z 47, 659-64. (1992).
24. Kerschbaum, T. Paszyna, C. Klapp, S. Meyer, G: Verweilzeiten- und
Risikofaktorenanalyse von festsitzendem Zahnersatz.
Dtsch Zahnärztl Z Jan 46 (1), 20-4. (1991) PubMed PMID: 1811963. Verweilzeit- und
risikofaktorenanalyse von festsitzendem Zahnersatz.
25. McLean, JW: Evolution of dental ceramics in the twentieth century.
The Journal of Prosthetic Dentistry 1// 85 (1), 61-6. (2001).
26. Strub, JR: Vollkeramische Systeme.
Dtsch Zahnärztl Z 47, 566-71. (1992).
27. Weber, H. Geis-Gerstorfer, J. Simonis, A. J., D. Frank, G: Voll- und Glaskeramikkronen
klinisch betrachtet.
Zahnärztl Mitt 77, 2416-21. (1987).
28. Janda, R: Silikatkeramiken. Teil 2: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung,
Wertung.
Quintessenz Zahntech 33 (6), 720-30. (2007).
29. Garvie, R. Hannik, R. Pascoe, R: Ceramic Steel?
Nature 258, 703-4. (1975).
30. Kern, M. Schubinski, P: Frakturquote unter der "Scheidungsrate".
ZWL 04, 48-53. (2004).
31. Filser, F. Lüthy, H. Kocher, P. Schärer, P. Gauckler, LJ: Vollkeramischer Zahnersatz im
Seitenzahnbereich Bewertung von Werkstoffen hinsichtlich Bruchlast und Zuverlässigkeit.
Quintessenz Zahntech 28, 48-60. (2002).
32. Janda, R: Vollkeramiken: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung, Wertung.
Quintessenz Zahntech 33, 46-60. (2007).
33. Pospiech, P: Klinische und technische Erfahrungen mit Vollkeramiken.
Dental - Praxis 19 (9), 255-7. (2002). German.

34. Meyer, G, Ahsbahs, S., Kern, M., Beuer, F., Reiss, B., Christelsohn, K., Beck, J., Ahlers, M. O.,: Vollkeramische Kronen und Brücken, S3-Leitlinie 083/012. Ergebnisse der DGProp-Konsensuskonferenz am 16. Januar 2013. (2014).
35. Pospiech, P. Tinschert, J: Keramik-Vollkeramik. Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin. 3M Espe, Seefeld, (2004).
36. Strub, JR. Kern, M. Türp, JC. Witkowski, S. Heydecke, G. Wolfart, S: Curriculum Prothetik Band I - III. Quintessenz Verlag, Berlin. (2011).
37. Janda, R: Gläser, Glaskeramiken und Keramiken. Teil 1: Grundlagen. Quintessenz Zahntech 32 (11), 1264-73. (2006).
38. Janda, R: Silikatkeramiken. Teil 1: Zusammensetzung, Eigenschaften, Anwendung, Wertung. Quintessenz Zahntech 33 (4), 448-56. (2007).
39. Craig, RG. Powers, JM. Wataha, JC: Zahnärztliche Werkstoffe. Eigenschaften und Verarbeitung. Elsevier GmbH, Urban und Fischer Verlag, München. (2006).
40. Fradeani, M, Redemagni, M.: An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: a retrospective study. Quintessence Int 33, 503-10. (2002).
41. F. Beuer, JS: CAD in practice ZWL, 38-42. (2009).
42. M. Gehrt, SW, N. Rafai, S. Reich, D. Edelhoff: Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. Clin Oral Invest 17(1), 275-84. (2013).
43. B. Taskonak, AS: Two-year clinical evaluation of lithia-disilicate-based all-ceramic crowns and fixed partial dentures. Dent Mater 22, 1008-13. (2006).
44. P. Marquardt, JRS: Survival rates of IPS empress 2 allceramic crowns and fixed partial dentures: results of a 5-year prospective clinical study. Quintessence Int 37, 253-9. (2006).
45. Brücke, H: Zwei Glaskeramiken auf dem neuesten Stand. Quintessence Zahntech 32(11), 1316-25. (2006).
46. Marxkors, R. Meiners, H: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffe. Carl Hanser Verlag, München. (1993).
47. Lava Ultimate nicht mehr für Kronen verwenden [Internet]. zm online, 3MEspe Dental Stellungnahme. 26.6. 2015.
48. Anne Barfuss, EPDFBM, Dr. Klaus Wiedhahn, Birgit Möller: Chairside-Brücken - eine Revolution. Dental Magazin 25.4.15. (26.4.2016).
49. Claus, A-V. Mechanische Festigkeit und Verschleißverhalten von monolithischen Zirkonoxidbrücken. München: Ludwig-Maximilians-Universität München; 2015.
50. M. Tholey, LR, P. Rutte: Sicher zur Ästhetik mit Gerüsten aus Zirkoniumdioxid.

- Quintessence Zahntech 37(4), 460-9. (2011).
51. Kohorst, P. Dittmer, M. Borchers, L. Stiesch-Scholz, M: Influence of cyclic fatigue in water on the load-bearing capacity of dental bridges made of zirconia. *Acta Biomater* 4, 1440-7. (2008).
52. Kohorst, P. Stiesch-Scholz, M: Zirkoniumdioxid: Hochleistungskeramiken in der Zahnmedizin. *Dentalzeitung* 4, 12-5. (2006).
53. München, AV: Zirkonoxid. *wwwarbeitsgruppe-vollkeramik-muenchende*. (2013).
54. Tinschert, J. Natt, G: Oxidkeramiken und CAD/CAM-Technologien. *Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln*. (2007).
55. Kohorst, P. Dittmer, MP. Stiesch, M: Welche Faktoren beeinflussen die Belastbarkeit von Restaurationen aus Zirkoniumdioxid? *Digital Dental News* 3. Jahrgang (April), 12-8. (2009).
56. Manhart, J: Vollkeramikrestaurationen in der restaurativen Zahnmedizin. *wissen kompakt* 4, 3-13. (2007).
57. Bergmann, W: Werkstofftechnik 1. *Carl Hanser Verlag, München*. (2008).
58. Pröbster, L: Metallfreie Keramikbrücken-Eine Standortbestimmung. *Phillip J* 10, 271-8. (1993).
59. Bindl, A. Mörmann, WH: An up to 5 year clinical evaluation of posterior In-Ceram CAD/CAM core crowns. *Int J Prosthodont* 14, 451. (2002).
60. Pröbster, L: Klinische Langzeiterfahrungen mit Vollkeramikronen aus In-Ceram. *Quintessenz* 48, 1639. (1997).
61. Sorensen, JA. Kang, SK. Torres, TJ. Knode, H: In-Ceram fixed partial dentures: Three year clinical trials. *J Cal Dent Assoc* 26, 207. (1998).
62. Eschbach, S, Wolfart, S., Bohlsen, F., Kern, M.: Clinical evaluation of all-ceramic posterior three-unit FDPs made of In-Ceram Zirconia. *Int J Prosthodont* 22, 490-2. (2009).
63. Kern, T, Tinschert, J. Schley, J.S., Wolfart, S. : Five-year clinicka evaluation of all-ceramic posterior FDPs made of In-Ceram Zirconia. *Int J Prosthodont* 25, 622-4. (2012).
64. Olsson, KG, Furst, B., Andersson B., Carlsson, G. E.: A long-term retrospective and clinical follow-up study of In-Ceram Alumina FDPs. *Int J Prosthodont* 16 (150-156). (2003).
65. A. Baltzer, VK-J: Die Belastbarkeiten von VITA In-Ceram. *Quintessence Zahntech* 29(11), 1318-42. (2003).
66. Pröbster, L. Kern, M: ZrO₂ - Monolithen - ein Faszinosum? Der Trend zu vollanatomischen Oxidkeramik-Kronen. *DZZ* 67, 777-82. (2012).
67. Guzzato, M. Albakry, M. Ringer, SP. Swain, MV: Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all- ceramic materials. Part I. Pressable an alumina glassinfiltrated ceramics. *Dent Mater* 20, 411. (2004).

68. Kim, M. Ahn, J. Kim, J. Kim, H. Kim, W: Effects of the sintering conditions of dental zirconia ceramics on the grain size and translucency. *J Adv Prosthodont* 5, 161-6. (2014).
69. Tholey, M: Transluzentes Zirkonoxid - ein neuer Trend. www.ztm-aktuell.de. (2012).
70. Janda, R: Editorial: Welches Zirkoniumdioxid darf's denn sein? *Quintessenz Zahntech* 33 (11), 1351-2. (2007).
71. Kappert, HF. Krah, M: Dentalkeramiken und zahntechnische Verfahren zur Herstellung von keramischem Zahnersatz in der Übersicht. *Quintessenz Zahntech* 27 (6), 666-87. (2001).
72. Garvie, R, Hannik, RH, Pascoe, RT: Ceramic steel? *Nature* 258, 703-4. (2012).
73. Verarbeitungsanleitung, Ie: Ivoclar Vivadent AG, Schaan/Liechtenstein, 1-67. (2009).
74. AG Keramik, K, M.: Bruxismus und Vollkeramik - eine Option? *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 67 (1). (2013).
75. Pospiech, P: Chipping - systemimmanente oder verarbeitungsbedingte Probleme? *Quintessence* 61 (2) 173-81. (2010).
76. Walton, T: An up to 15-year longitudinal study of 515 metal-ceramic FDPs. *Int J Prosthodont* 15, 439-45. (2002).
77. Kunzelmann, KH. Kern, M. Kohal, RJ. Mehl, A. Pospiech, P. Frankenberger, R, et al.: Vollkeramik auf einen Blick. *AG für Keramik in der Zahnheilkunde, Ettlingen*. (2010).
78. Beuer, F, Schweiger, J., Mlaka, S., Stimmelmayer, M., Güth, J.F.: Chipping von ZrO₂-Kronen. *das dental labor* LX 3. (2012).
79. Pospiech, P, Kunzelmann, KH., Kern, M.: Hat sich Vollkeramik bewährt? *ZWP Oesmus* 4, 16-20. (2008).
80. Nothdurft, F, Merker, S., Pospiech, PR: Fracture behavior of implant-implant as implant-tooth supported all-ceramic fixed dental protheses utilising zirconium dioxide implant abutements. *Clin Oral Investig* 15, 89-97. (2011).
81. Schwarz, S, Schröder, C., Bömicke, W., Hassel, AJ., Rammelsberg, P.: Zum Chippingverhalten zirkoniumdioxid-basierter und metallkeramischer Einzelkronen und Kronenblöcke auf Implantaten - eine retrospektive Untersuchung. *Z Zahnärztl Implantol* 2, 138-47. (2012).
82. Oh, W. Gotzen, N. Anusavice, K: Influence of connector design on fracture probability of ceramic fixed-partial dentures. *J Dent Res* 2002 81, 623-7. (2002).
83. Fischer, H. Weinzierl, P. Weber, M. Marx, R: Bearbeitungsinduzierte Schädigung von Dentalkeramik [Processing related damages of dental ceramic]. *Dtsch Zahnärztl Z* 54 (484-488). (1999).
84. Guo, X: Property degradation of tetragonal zirconia induced by low-temperature defect reaction with water molecules. *Chem Mater* 16, 3988-94. (2004).

85. Westwood, A. Latanision, R: Environment-sensitive machining behavior of nonmetals (Rebinder effect in machining ceramics).
Science of ceramic machining and surface finishing ;NBS Spec Pub 348: , 141-55. (1972).
86. Ritter, J. Laporte, R: Effect of test environments on stress-corrosion susceptibility of glass.
J Am Ceram Soc 58, 265-7. (1975).
87. Bates, J. Stafford, G. Harrison, A: Masticatory function - A review of the literature II. Speed of movement of the mandible, rate of chewing and forces developed in chewing.
J Oral Rehabil 2, 349-61. (1975).
88. Ferrario, V. Sforza, C. Zanotti, G. Tartaglia, G: Maximal bite forces in healthy young adults as predicted by surface electromyography.
J Dent 32, 451-7. (2004).
89. Duret, F. Blouin, J. Duret, B: CAD-CAM in dentistry.
J Am Dent Assoc 117, 715-20. (1988).
90. Kurbad, A. Reichel, K: CAD/CAM-gestützte Vollkeramikrestaurationen aus Zirkonoxid.
Quintessenz 55 (6), 673-84. (2004).
91. Schneemann, P. Borchers, L. Stiesch-Scholz, M: Belastbarkeit 4-gliedriger Seitenzahnbrücken aus Vollkeramik [Fracture load of 4-unit all-ceramic fixed partial dentures].
ZWR 2005 114, 28-36. (2005).
92. Tinschert, J. Natt, G. Mautsch, W. Augthun, M. Spiekermann, H: Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study.
Int J Prosthodont 14, 231-8. (2001).
93. Beuer, F. Schweiger, J., Eichberger, M.: Sinterverbundkronen und -brücken: Neue Wege zur Herstellung von computergefertigtem Zahnersatz.
Digital Dental News 1, 14-21. (2007).
94. Beuer, F: Sinterverbundkronen: Hightech-Verblendkeramikronen im reinen CAD/CAM-Verfahren.
Quintessence Zahntech 35(5) 262-72. (2009).
95. Absmaier, F. In-vitro-Untersuchung zu Zirkonoxidkronen mit reduzierter Schichtstärke. München2014.
96. Beuer, F, Eichberger, M., Kappert, HF., Gernet, W., Edelhoff, D.: High-strength CAD/CAM fabricated veneering material sintered to zirconia copings - A new fabrication mode for all-ceramic restorations
Dent Mater 25, 121-8. (2009).
97. Schmitter, M, Rues, S.: Chipping behaviour of all-ceramic crowns with zirconia framework and CAD/CAM manufactured veneer.
J Dent 40, 154-62. (2012).
98. DGI-Kongress, AK: Verblendet vs. Monolithisch; Ästhetik und verblendfreie Gerüste auf dem 16. Keramiksymposium.
. (Nov. 2016).
99. Beuer, F, Stawarczyk, B., Tholey, M.: Zirkonoxid-Konsens.
digitale zahntechnik ddspecial, 90-8. (2011).

100. Beuer, F, Güth, JF., Edelhoff, D., Naumann, M.: In vitro performance of full-contour zirconia single crowns.
Dent Mater 28, 449-56. (2012).
101. Nordahl N., VvSP, Larsson C., : Fracture strenght of ceramic monolithic crown systems of different thickness.
J Oral Sci 2015 57, 255-61. (2015).
102. Stawarczyk, B, Özcan, M.: Abrasionsuntersuchungen mit verschiedenen Dentalwerkstoffen.
Dental Materials Unit, Universität Zürich. (2010).
103. Stawarczyk, B, Özcan, M., Schmutz, F., Trottmann, A., Roos, M., Hämmerle, CH.: Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists.
Acta Odontol. (2012).
104. Beuer, F, Schweiger, J., Kern, M.: Die Digitaltechnik ist der Natur auf der Spur.
ZAHNTECH MAG 19(2), 104-8. (2015).
105. Beuer, F, Schweiger, J., Kern, M.: Das Dentin bestimmt die Farbe.
zm 15A, 726-30. (2015).
106. AG, IV: IPS e.max Lithium-Disilikat.
Produktbeschreibung (2017).
107. DGZMK, Dea: S3-Leitlinie Kronen und Brücken aus Vollkeramik, AWMF.
Zahnärztl Mitteil 2015 7, 083-12. (30.3.2015).
108. Pressemitteilung, P: Cercon-Symposium: "Eine offene und kollegiale Diskussion, wie wir sie selten erlebt haben".
PresseBox Boxid 144300. (2007).
109. Kern, M, Pröbster, L.,: Ist die Technik schneller als unserer Lernfähigkeit?
ZWL 03, 38-44. (2004).
110. Pospiech, P: Biokompatibilität keramischer Systeme.
Quintessence Zahntech 31, 1337-43. (2005).
111. Richter, EJ: Klinische Erfahrungen mit der Dicor-Glaskeramik, in Kappert, H.F. Vollkeramik - Werkstoffkunde - Zahntechnik - klinische Erfahrungen.
Quintessence Verlags-GmbH: Berlin 1, 119 - 32. (1996).
112. Savitt, ED, Malament, K. A., Socransky, S. S., Melcer, A. J., Backman, K.J.: Effects on colonization of oral microbiota by a cast glass-ceramic restoration.
Int J Periodontics Restorative Dent 7(2), 22-35. (1987).
113. Malament, KA, Socransky S. S., Thompson, V., Rekow, D.: Survival of glass-ceramic materials and involved clinical risk: variables affecting long-term survival.
Pract PProced Aesthet Dent, 5-11. (2003).
114. Kinnen, B. Klinische Bewährung von Kronen und Brücken aus einer Lithium-Disilikat-Glaskeramik nach 60-monatiger Beobachtungsdauer. Zahnmedizinische Dissertation2007.
115. Sorensen, JA: A rationale for comparison of plaque-retaining properties of crown systems.
J Prost Dent 62(3) 264-9. (1989).
116. Lang, NP, Kiel, R. A., Anderhalden, K.: Clinica and microbiological effects of subgingival restorations with overhanging or clinically perfect margins.
J Clin Periodontol 10(6), 563-78. (1983).

117. Arvidson, K, Madsen, K., Friberg, U.: Biological testing of dental post materials by means of cell culture. *J Dent Res* 57, 257. (1978).
118. Beuer, F, Gernet, W., Edelhoff, D., Naumann, M.: Prospective study of zirconia-based restorations: 3-year clinical results. *Quintessence Int* 41, 631-7. (2009).
119. Tinschert, J, Schulze, K.A., Natt G., Latzke, P., Heussen, N., Spiekermann, H.: Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3- year results. *Int J Prosthodont* 21, 217-22. (2008).
120. Otto, T, De Nisco, S.: Eine prospektive, klinische 10-Jahres-Studie von Cerec CAD-CAM-Inlays und Onlays *Int J Prosthodont* 15, 122-8. (2003).
121. Pallesen, U, van Dijken, J. W. V.: An 8-Year evaluation of sintered ceramic and glass ceramic inlays processed by the Cerec CAD/CAM system. *Eur J Oral Sci* 108, 239-46. (2000).
122. Reiss, B: Die 18-Jahres Studie. *Zahnärztl Mitteil* 97(2), 34-8. (2007).
123. Weppler, M: Monolithische Kronen aus Zirkonoxid: hart - abrasiv -unästhetisch? *Das internationale Zahntechnik Magazin*. (2012).
124. Stawarczyk, B, Özcan, M., Schmutz, F.: Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists. *Acta Odontol Scand*. (2012).
125. IADR 2013, AK: Internationale Referenten zur Vollkeramik und Implantatprothetik auf der IADR 2013. *Kurzbericht zur IADR, 20-23 März 2013*. (2013).
126. Pospiech, P, Rountree, P., Unsöld, F., Rammelsber, P.: In-vitro investigations on the fracture strength of all-ceramic posterior bridges of Empress 2. *J Dent Res*, 1999 78, 307. (1999).
127. Saller, I, Feher, A., Filser, F., Gauckler, L.J., Luthy, H.: Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 20, 383-8. (2007).
128. Vult von Steyern, P, Carlson, P., Nilner, K.: All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehabil* 32, 180-7. (2005).
129. Keramik, SdA: Innovative Werkstoffe und CAD/CAM-Verarbeitung. *DIGITAL_DENTAL NEWS* 7.Jahrgang. (2013).
130. Güß, P: All-Ceramic System: Laboratory and clinical performance. *Dent Clin N Am* 55. (2011).
131. Kerschbaum, T, Faber, F.J., Noll, F. J., Keiner, M., Hürther, W., Schumacher, S., Keller, E.: Komplikationen von Cercon-Restaurationen in den ersten fünf Jahren *Dtsch Zahnärztl Z* 64, 81-9. (2009).
132. Vigolo, P, Mutinelli, S.: Evaluation of zirconium-oxide-based ceramic single-unit posterior fixed dental protheses (FDPs) generated with two CAD/CAM systems compared to porcelain-fused-to-metal single-unit posterior FDPs: a 5-year clinical prospective study. *J Prosthodont* 21, 265-9. (2012).
133. Foitzik, C: Fotodokumentation in der Zahnarztpraxis.

ZWR - Das deutsche Zahnärzteblatt 199(6), 300-2. (2010).

134. Hayashi, M, Wilson, N.H.: Quantitative deterioration as a predictor of failure of a posterior composite.

Eur J Oral Sci 111, 155-62. (2003).

135. Heel, M. Klinischer Verschleiß von KERAMIKINLAYS im Vergleich zur umgebenden Zahnhartsubstanz nach zehn Jahren. Med Diss2009.

136. Krämer, N, Frankenberger, R., Pelka, M., Petschelt, A.: IPS Empress inlays and onlays after four years - a clinical study.

J Dent 27, 325-31. (1999).

137. Frankenberger, R, Krämer, N., Graf, A., Petschelt, A.: Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after six years: clinical behaviour

Oper Dent 25, 459-65. (2000).

138. Thonemann, B, Federlin, M., Schmelz, G., Hiller, K.: Kunststoffausquellung bei Kavitätenrändern im Dentin.

Dtsch Zahnärztl Z 50, 847-50. (1995).

139. Kunzelmann, KH, Deigner, M., Hickel, R.: Hat sich Vollkeramik bewährt? Eine Positionspfeilung in der Kons und Prothetik;

dentalfresh 2. (2007).

8. Anhang

zu Punkt 3.4. Nachuntersuchungen:

Dokumentationsbogen

Studennummer: _____

Prüfarzt: _____

Datum:

____/____/____

Restauration 1 (FDI): _____

Restauration 2 (FDI): _____ Referenz (FDI) _____

Zeitpunkt der Nachuntersuchung:

Baseline

1. Recall (1 Jahr)

2. Recall (2 Jahre)

3. Recall (3 Jahre)

4. Recall (5 Jahre)

	1	2	Referenz
Plaque-Index (0-3) nach Silness und Loe			
Gingiva-Index (0-3) nach Loe und Silness			
Blutungsindex nach Muehleman			
Taschensondierungstiefe mesial			
Taschensondierungstiefe distal			
Vitalität (0/1)			
Perkussion (0/1)			
Statische Okklusion (0/1)			
Dynamische Okklusion (0/1)			
Lage der Restaurationsgrenze (1 iso-, 2 supra-, 3 subgingival)			
Abrasion an Restauration sichtbar (0/1)			
Abrasion an Gegenzahn sichtbar (0/1)			

Abplatzungen

1	2	Referenz		
		<input type="checkbox"/>	Alpha	Die Restauration ist ohne Beanstandung: Es sind keine Risse, Abplatzungen oder Oberflächendefekte zu diagnostizieren.
		<input type="checkbox"/>	Bravo	Die Restauration hat kleine Risse und/oder Abplatzungen. Diese leichten Mängel sind jedoch vollständig korrigierbar und stören den Patienten nicht. Die Restauration kann in situ belassen werden.
		<input type="checkbox"/>	Charlie	Die Restauration hat Risse und/oder Abplatzungen, die nicht vollständig korrigierbar sind. Die Restauration verbleibt in situ, muss jedoch beobachtet werden, um den Schutz der Pfeilerzähne und der umliegenden Strukturen sowie die Funktion der Restauration sicherzustellen.
		<input type="checkbox"/>	Delta	Die Restauration ist frakturiert, muss entfernt und erneuert werden.

Oberflächenqualität

1	2	Referenz		
			Romeo	Die Restauration ist ohne Beanstandung: Die Oberfläche ist maximal vergütet und glatt.
			Sierra	Die Oberfläche ist leicht rau. Diese leichten Mängel sind jedoch vollständig korrigierbar und stören den Patienten nicht. Die Restauration kann in situ belassen werden.
			Tango	Die Restauration weist deutliche Oberflächendefekte auf, die nicht vollständig korrigierbar sind. Die Restauration verbleibt in situ, muss jedoch beobachtet werden, um den Schutz der Pfeilerzähne und der umliegenden Strukturen sowie die Funktion der Restauration sicherzustellen.
			Victor	Die Restauration ist unbrauchbar, muss entfernt und erneuert werden.

Marginale Randqualität

1	2	Referenz		
			Alpha	Die Restauration ist ohne Beanstandung: Der Restaurationsrand ist nicht sondierbar.
			Bravo	Der Rand der Restauration ist an manchen Stellen minimal tastbar. Die Restauration kann jedoch in situ belassen werden.
			Charlie	Ein Randspalt ist massiv tastbar. Die Restauration verbleibt in situ, muss aber langfristig beobachtet werden, um den Schutz der Pfeilerzähne und der umliegenden Strukturen sowie die Funktion der Restauration sicherzustellen.
			Delta	Die Sonde dringt unter den Kronenrand ein. Die Restauration muss entfernt und erneuert werden.

Sekundärkaries

1	2	Referenz		
			Alpha	Die Restauration ist ohne Beanstandung: Klinisch ist keine Sekundärkaries zu diagnostizieren.
			Bravo	Am Restaurationsrand ist eine oberflächliche Entkalkung oder ein white spot zu diagnostizieren. Präventive Maßnahmen sind ausreichend, die Restauration verbleibt in situ.
			Charlie	Am Restaurationsrand ist klinisch eine Karies diagnostizierbar, die mittels einer Füllungstherapie behandelt werden kann. Die Restauration verbleibt in situ, jedoch ist eine langfristige Beobachtung erforderlich, um den Schutz der Pfeilerzähne und der umliegenden Strukturen sowie die Funktion der Restauration sicherzustellen.
			Delta	Im Bereich der Restauration ist klinisch oder röntgenologisch eine Karies diagnostizierbar, die sich bis ins Dentin fortsetzt. Die Entfernung und Erneuerung der Restauration indiziert.

Farbanpassung

1	2	Referenz	
			Alpha Es ist kein Unterschied in Farbe und/oder Transluzenz zwischen Restauration und Nachbarzähnen wahrnehmbar.
			Bravo Es ist ein leichter Unterschied zwischen Restauration und Nachbarzähnen wahrnehmbar, der sich im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe oder Transluzenz bewegt und klinisch akzeptabel ist.
			Charlie Es ist ein Unterschied zwischen Restauration und Nachbarzähnen wahrnehmbar, der sich nicht im Rahmen einer natürlichen Zahnfarbe und/oder Transluzenz bewegt.
			Delta Zahnfarbe und/oder Transluzenz sind unästhetisch und erfordern die Erneuerung der Restauration.

Integration der Restauration in die Zahnreihe

1	2	Referenz	
			Die Form der Restauration fügt sich harmonisch in die umliegenden anatomischen Gegebenheiten (Nachbarzähne, Antagonisten, Gingiva) ein.
			Die Restauration ist leicht unterkonturiert.
			Die Restauration ist leicht überkonturiert.

Fotostatus

Abformung Restaurationen

Abformung Gegenzähne

Unterschrift des Nachuntersuchers

____/____/_____
Datum (TT/MM/JJJJ)

9. Danksagung

Vor allem möchte ich mich bei meinem Vater bedanken, dessen langjährige und vielseitige Unterstützung meine Ausbildung erst möglich gemacht hat und der mir auf unvergleichliche Weise immer mit Rat und Tat zur Seite steht.

Ein außerordentlicher Dank gilt meinem Doktorvater Univ. Prof. Dr. Florian Beuer MME für die freundliche Überlassung des Promotionsthemas sowie die hervorragende Betreuung. Ich bedanke ich mich für seine tatkräftige und kompetente Unterstützung bei dieser Studie und generell für die Ausbildung sowie immer freundliche und bereichernde Zusammenarbeit.

Dem ganzen zahntechnischen Labor der Prothetik der Ludwig-Maximilian-Universität München unter der Leitung von Josef Schweiger möchte ich herzlich danken.

Schließlich gilt ein besonderer Dank meiner Tante Barbara, Familie Rainprechter und meinen Freunden für ihren Beistand und Rückhalt in den letzten Jahren.

10. Eidesstattliche Versicherung

Eidesstattliche Versicherung

Schmidt, Anna Maria

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Klinische Bewährung von Restaurationen mit Zirkonoxidgerüst im Vergleich zu monolithischen Kronen und Brücken aus Lithiumdisilikat nach 7 Jahren Beobachtungsdauer“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 10.10.2018

Ort, Datum

Anna Maria Schmidt

Unterschrift Doktorandin/Doktorand