

Überlebensanalyse und klinische Nachuntersuchung einer maschinenbearbeitbaren
Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max CAD LT) von Einzelzahnrestorationen im
Seitenzahnggebiet im *chairside*-Verfahren:
10-Jahres-Ergebnisse

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med. dent.

an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von: Luise Dalchau
Geburtsdatum / Geburtsort: 15.12.1987 / Frankfurt (Oder)
angefertigt an: Universität Leipzig, Medizinische Fakultät
Universitätszahnmedizin Leipzig
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik und
Werkstoffkunde Leipzig
Betreuer: Prof. Dr. med. dent. Holger A. Jakstat
Dr. med. dent. Angelika Rauch, M. Sc.

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 19.05.2020

Meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
1 Einführung.....	1
1.1 CAD/CAM.....	3
1.1.1 Digitale Abformung	6
1.1.2 Digitale Konstruktion	6
1.2 Keramik.....	9
1.2.1 Lithiumdisilikatkeramik	11
1.2.2 IPS e.max CAD.....	13
1.3 Befestigung	14
1.3.1 Konventionelle Befestigung.....	15
1.3.2 Adhäsive Befestigung	15
1.4 Langzeitstudien	17
1.5 Aufgabenstellung.....	18
2 Material und Methode.....	19
2.1 Studienpopulation.....	19
2.2 Präparationsrichtlinien	20
2.3 Abformung.....	21
2.4 Herstellung der Krone.....	21
2.5 Adhäsives Einsetzen	22
2.6 Nachkontrollen.....	22
2.7 Statistische Auswertung	23
2.7.1 Randomisierung.....	23
2.7.2 Überlebensanalyse	23
2.7.3 Qualitative Beurteilung der Restaurationen.....	24
3 Ergebnisse	25
3.1 Recall-Raten.....	25
3.2 Überlebensanalyse.....	25
3.2.1 Technische Komplikationen und Misserfolge	25
3.2.2 Biologische Komplikationen und Misserfolge	26
3.3 Qualitative Beurteilung nach modifizierten USPHS-Kriterien.....	29
3.3.1 Oberfläche	29
3.3.2 Farbe	30
3.3.3 Klebefuge.....	30
3.3.4 Integrität Zahn.....	31

3.3.5	Integrität Krone	32
3.3.6	Beschwerden	33
3.3.7	Compliance	34
4	Diskussion	35
4.1	Gegenstand der Diskussion	35
4.2	Methodische Stärken und Schwächen	35
4.3	Vergleich und Interpretation der Daten.....	36
4.3.1	Überlebensanalyse	36
4.3.2	Modifizierte USPHS-Kriterien.....	42
4.4	Ausblick.....	42
4.5	Schlussfolgerung.....	43
5	Zusammenfassung	44
6	Literaturverzeichnis	47
7	Abbildungsverzeichnis.....	52
8	Diagrammverzeichnis	53
9	Anhangsverzeichnis	54
10	Anhang	55
	Eigenständigkeitserklärung.....	60
	Publikationen	61
	Danksagung	62

Abkürzungsverzeichnis

B	behandelte Kronen
BL	Bleachingfarben
BZ	Beobachtungszeitraum
CAD	Computer Aided Design
CAI	Computer Aided Impressioning
CAM	Computer Aided Manufacturing
CEO	Chief Executive Officer
CEREC	CEramic REConstruction
EMPRESS	Lithiumdisilikatkeramik
HT	High Translucency
IBM	International Business Machines
IPS e.max CAD	Lithiumdisilikatkeramik (Rohling für CAD/CAM-Technologie)
IPS e.max Press	Lithiumdisilikatkeramik (Rohling für PRESS-Technologie)
K	Komplikationen
KFR	komplikationsfreie Rate
KI	Koefidenzintervall
LT	Low Translucency
M	Misserfolge
MO	Medium Opacity
MT	Medium Translucency
n. b.	nicht beurteilt
PSI	Parodontaler Screening Index
SN	Seriennummer
t	Zeit in Monaten
UB	unbehandelte Kronen
ÜR	Überlebensrate
USPHS	US Public Health Services
ZLS	Zirkonverstärkte Lithiumsilikatkeramik

1 Einführung

In einem Mercedes Simplex sitzend, sagte Kaiser Wilhelm II. 1904: „Das Auto hat keine Zukunft. Ich setze auf das Pferd.“¹

Thomas Watson, CEO von IBM, vermutete 1943: „Ich denke, dass es einen Weltmarkt für vielleicht fünf Computer gibt.“²

2015 antwortete Werner Mörmann, Erfinder und Entwickler der CEREC-Einheit, auf die Frage, wo CEREC zu seinem 50. Geburtstag, im Jahr 2037 stehen würde: „Ich bin Optimist, CEREC steht in jeder Praxis, mindestens der Intraoralscanner.“³

Solche Aussagen von Staatsmännern, Führungskräften und Visionären erscheinen aus heutiger Perspektive fast humoristisch. Die Vorstellung der Schaffung von Komfortzonen künftiger **Dienstleistungen** treibt den Forschungsdrang immer weiter voran. Dies geht auch in der Zahnmedizin nicht ohne eine fortschreitende Digitalisierung der Arbeitsprozesse. Digitales Röntgen, digitale Abformung, computerassoziiertes Konstruieren und Schleifen von Einzelzahnrestorationen, Brücken und Implantatabutments und sogar Planung von komplexen prothetischen Fällen halten immer mehr Einzug in die Zahnarztpraxen des 21. Jahrhunderts. Mörmann behauptet weiterhin: „Meines Erachtens wird der Zahnarzt zu dieser Zeit bei jedem neuen Patienten eine optische Abformung des gesamten Gebisses als Standard-Befundung vornehmen.“³ Eine Idee, die ohne den digitalen Fortschritt nicht realisierbar wäre und dem Patienten eine Komfortzone verschaffen würde.

So ist es heute möglich, den Patienten bei einzelnen Behandlungsschritten wie der Abformung, der Bissnahme und der arbiträren Scharnierachsenbestimmung nicht mit konventionellen Arbeitsschritten zeitlich zu stark zu strapazieren, sondern diese stattdessen in den digitalen Workflow einzugliedern. Dies ermöglicht eine für den Patienten als angenehmer wahrgenommene Vorgehensweise⁴. Zusätzlich kann dem Patienten der Wunsch nach einer ästhetischen, definitiven Restauration innerhalb einer Behandlungssitzung und direkt an der Behandlungseinheit (*chairside*) erfüllt werden. Bereits 1987 stellte die Firma Sirona (Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland) das CEREC-System (*CEramic REConstruction*) vor, welches mittels

Einführung

computer-aided design/ computer-aided manufacturing, kurz CAD/CAM genannt, die *chairside*-Herstellung von keramischen Restaurationen ermöglichte.

Zusätzlich zum Komfort der Behandlung nimmt der Wunsch nach ästhetisch ansprechenden, zahnfarbenen Restaurationen für die Patienten einen hohen Stellenwert ein. Laut einer EMROS-Studie von 10/2008 mit 402 Befragten halten es 46,5 % der Teilnehmer als erstrebenswert und sogar 39,5 % für sehr erstrebenswert, strahlend weiße Zähne zu haben ⁵.

Dieser bestehende Patientenwunsch ist seit der Entwicklung der vollkeramischen zahnärztlichen Restaurationsmaterialien ein leicht zu realisierendes Behandlungsziel geworden. Die computergestützten Herstellungstechniken verbreiteten sich bereits seit Anfang der 80er Jahre ⁶ und hoben damit auch den Anspruch der Dentalfirmen an ihre Materialien. So stellte die Firma Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein) 1998 eine Lithiumdisilikatkeramik (Empress II, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) vor, welche zum einen als Kronen- und zum anderen auch als Brückenmaterial verwendet werden konnte. Die mangelnde Ästhetik dieses Werkstoffs ermöglichte aber lediglich dessen Verwendung als Gerüstmaterial. Seit der Entwicklung von IPS e.max (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) im Jahr 2005 als CAD/CAM-Keramik (IPS e.max CAD) und als Presskeramik (IPS e.max Press) ist der monolithische Gebrauch von Silikatkeramiken im Seitenzahngebiet möglich. Das Indikationsspektrum reicht dabei von kleinen Inlay-Restaurationen bis zu 3-gliedrigen Endfeilerbrücken, welche maximal den 1. Prämolaren ersetzen dürfen ⁷. Durch die monolithische Anwendung kann das bei verblendeten Restaurationen bekannte Risiko von Abplatzungen der Verblendkeramik (*Chipping*) umgangen werden. Ästhetische Alternativen wären beispielsweise verblendete Zirkoniumoxidkeramiken, die jedoch eine jährliche Komplikationsrate von 0,64 % aufweisen, die damit noch höher als die langzeitbewährten Metallkeramiken mit einer jährlichen Komplikationsrate von 0,53 % ist ⁸. Diese Materialkombination weist bereits seit Jahren eine ausgezeichnete Überlebensrate im Bereich von 95,9-97,1 % nach 10 Jahren auf ^{9,10}.

Die Herausforderung für die Zahnärzte besteht gegenwärtig in der präzisen Auswahl eines ästhetischen Materials, einer schnellen Abfolge der einzelnen Behandlungsschritte und insbesondere einer langlebigen Restauration für den Patienten.

1.1 CAD/CAM

Um die Herstellungsprozesse vom handwerklichen Geschick des Technikers loszulösen, die Qualität der Produkte auf hohem Niveau zu vereinheitlichen und gleichzeitig die Fabrikation zu beschleunigen, wurde die CAD/CAM-Technologie, die aus dem Maschinenbau stammt, in die Zahnheilkunde eingeführt. Prinzipiell besteht der Fertigungsprozess immer aus den gleichen Abläufen. Der Datenerfassung (CAI *computer-aided impressioning*) folgt die digitale Formgestaltung (CAD) und die maschinelle Fertigung (CAM).

Die bekanntesten intraoralen Scansysteme sind CEREC, iTero, Lava C.O.S. und cara TRIOS. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in der Art der Lichtquelle, der Anwendung von Puder bei der optischen Abformung, dem Aufnahmemodus und dem Aufnahmeprinzip.

Das von Mörmann und Bradestini Anfang der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts über fünf Jahre entwickelte CEREC-System ist das erste kommerziell erwerbbares CAD/CAM-System in der Zahnheilkunde, das die Firma Sirona (Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland) seit 1987 vertreibt. Im Vergleich zu den oben genannten Systemen ist es das einzige, das die *chairside*-Fertigung von Zahnersatz in einer eigens entwickelten Fräsmaschine ermöglicht¹¹. Eine regelmäßige Weiterentwicklung des Verfahrens mündete in dem heute verfügbaren CEREC AC mit der BlueCam und der 2012 auf den Markt gekommenen OmniCam. Außerdem erfolgte die Erweiterung des Intraoralscanner-Portfolios um die CEREC OmniCam AF. Die neueste Innovation ist die Primescan AC.

Die Abbildung 1 zeigt die CEREC AC-Einheit, die aus einem Kart besteht, der den Rechner, den Trackball, den Fußschalter und die desinfizierbare Folientastatur sowie einen Bildschirm und die entsprechende Kamera enthält¹².



Abbildung 1 CEREC AC-Aufnahmeeinheit.

Die Funktionsweise des CEREC-Scanners folgt dem Prinzip der aktiven Triangulation. Dabei wird die Lagebeziehung zwischen Lichtquelle und Sensor als bekannt vorausgesetzt. Beide bilden die Basis eines Dreiecks, dessen dritter Eckpunkt von einem Objektpunkt gebildet wird. Ein- und Ausfallswinkel sind bekannt, so dass es möglich ist, die Daten des dritten Punktes zu bestimmen. Zur Beschleunigung dieses Scanprinzips wird beim Digitalisieren von komplexen Objekten auf dessen punktweise Beleuchtung verzichtet. Stattdessen wird ein skaliertes Projektionsgitter auf das Objekt geworfen, dessen reflektierte Veränderung analysiert wird, woraus dann die Lagebeziehungen der einzelnen Objektbilder berechnet werden können. Abbildung 2 verdeutlicht noch einmal die Projektionsweise.

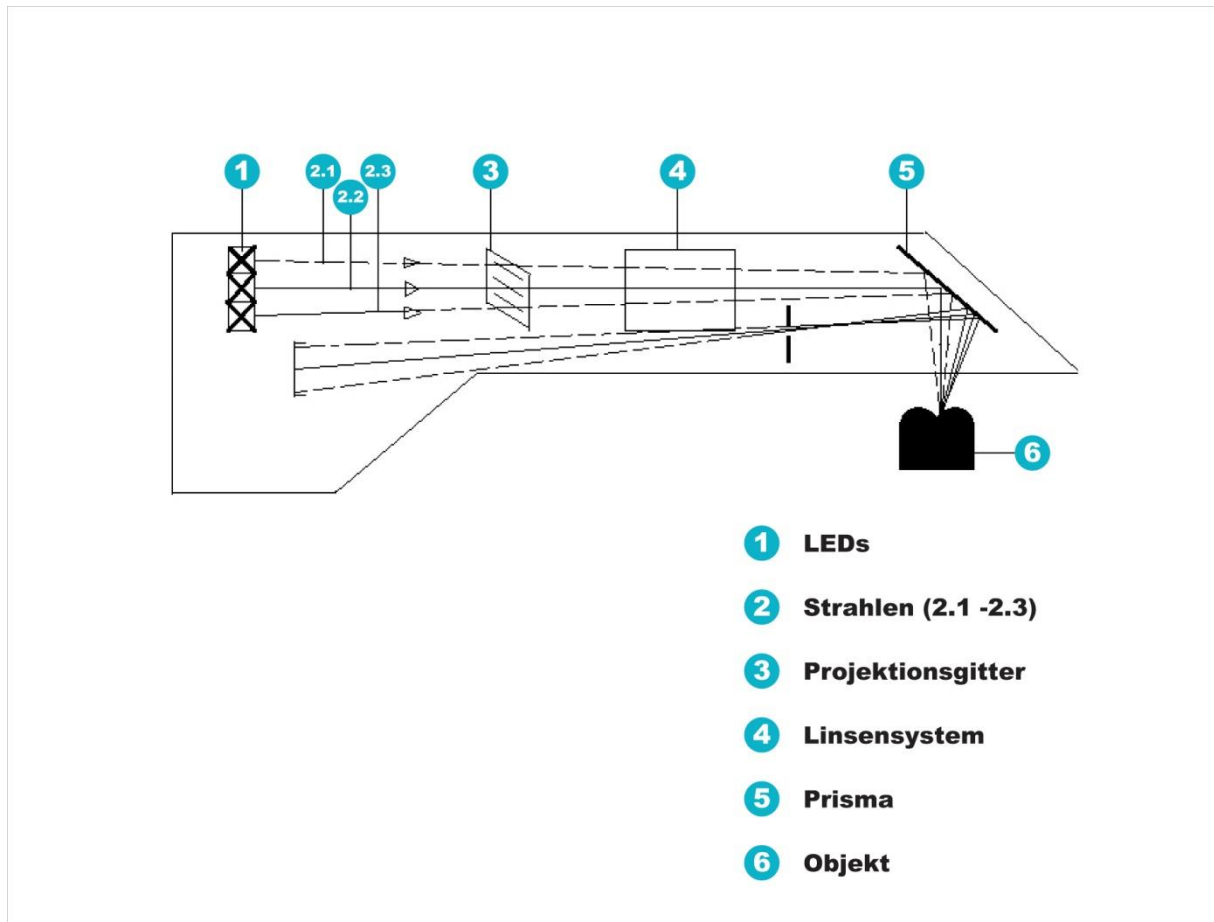


Abbildung 2 Aufbau der CEREC BlueCam.

Die CEREC BlueCam benötigt als Scanvorlage ein mit Titandioxid gepudertes Objekt. Das Pulver gewährleistet eine flächige Bedeckung der Strukturen und lässt unterschiedliche Transluzenzen der Objekte wie beispielsweise Zahnschmelz, verschiedene Füllungsmaterialien und Zahnfleisch als eine gleichmäßig reflektierende Oberfläche erscheinen, die für die aktive Triangulation notwendig ist ¹³. Die CEREC OmniCam hingegen kann puderfrei verwendet werden und nimmt eine echtfarbene Videosequenz auf ¹⁴. Die Primescan AC produziert fotorealistische Daten mit Hilfe des Smart Pixel Sensors, der mehr als 1.000.000 3D-Punkte pro Sekunde verarbeiten kann.

1.1.1 Digitale Abformung

Nach vorangegangener Präparation des zu behandelnden Zahnes erfolgt die digitale Abformung. Bereits zu Behandlungsbeginn wählt der Zahnarzt das Restaurationsmaterial, die Restaurationsart und den entsprechenden Zahn im Programm aus. Die Kamera wird aktiviert, sobald man in die Aufnahmephase gelangt. Die CEREC BlueCam verfügt über eine Steuerung zum selbstständigen Auslösen der optischen Abdrücke. Der sogenannte *continuous measuring mode* erlaubt die fortlaufende Aufnahme, sobald die Kamera auf dem gewünschten Bildausschnitt verharrt. Diese Aufnahmetechnik unterscheidet sich deutlich von der OmniCam, bei der eine fließende Bewegung der Kamera durch den Behandler zu den besten Aufnahmen führt. Die Qualität der Bilder ist stark von der Erfahrung des Zahnarztes abhängig ¹⁵. Es liegt im Ermessen des Behandlers, mit welcher Aufnahme gestartet werden soll. Drei Aufnahmen sind für die Konstruktion einer Restauration notwendig: die Aufnahme des präparierten Zahnes inklusive der Nachbarzähne und der Erfassung aller Außenkonturen der Zähne von bukkal und oral bis zur Gingiva, die Aufnahme des Antagonisten inklusive der Nachbarzähne sowie deren Außenkonturen und eine Aufnahme der Bissituation. Diese kann mittels bukkaler Registrierung erfolgen oder mit Hilfe eines Bissmaterials als Quetschbiss. Alle Dateien werden abgespeichert und können bei Bedarf beliebig oft aufgerufen werden. Der Zahnarzt hat zu diesem Zeitpunkt bereits die Möglichkeit, seine Arbeit zu überprüfen und gegebenenfalls Korrekturen am Zahn oder an der Aufnahme vorzunehmen. Ist der Behandler mit allen Objektausschnitten zufrieden, werden anschließend Präparations- und Antagonistenmodell über die Bukkalaufnahme einander zugeordnet.

1.1.2 Digitale Konstruktion

Nach Abschluss aller Bildsequenzen beginnt für den Behandler die Arbeit am PC. Zunächst sollten Aufnahmeartefakte ausgeschnitten werden, um die Datenmenge nicht unnötig zu erhöhen und das 3D-Modell übersichtlich zu halten. Vor Beginn der eigentlichen Konstruktion der Restauration definiert der Zahnarzt die Präparationsgrenze und legt die Einschubachse fest. Innerhalb dieses Arbeitsschrittes besteht die Möglichkeit der sofortigen Überprüfung der Präparation.

Einführung

Sollte die Grenze zwischen Zahn und geplanter Restauration nicht eindeutig definiert werden können oder Unterschnitte sichtbar sein, können diese noch innerhalb der gleichen Sitzung korrigiert werden. Die CEREC-Software berechnet im Anschluss den entsprechenden Systemvorschlag für die vorher definierte Restaurationsart. Hierfür wird Form und Gestalt der Restzahnsubstanz und des Antagonisten analysiert und eine entsprechend der Morphologie geeignete Restauration der Präparation angepasst. Im Anschluss werden die Approximalkontakte hergestellt und die Okklusalkontakte zum Antagonistenmodell eingestellt. Nach Abschluss des vom System berechneten Vorschlages sollte eine Kontrolle auf allen Ebenen hinsichtlich der Ausrichtung im Zahnbogen, der Höhe der Randleisten und der Position der Höcker durch den Zahnarzt erfolgen. Außerdem wird die Ausprägung aller Kontakte noch einmal überprüft und gegebenenfalls angepasst.

Im Anschluss daran kann der Formschleifprozess gestartet werden. Hierfür wird die Schleifeinheit ausgewählt und deren Bereitstellung überprüft. Entsprechend des zu Behandlungsbeginn gewählten Materials und der Farbe wird der Block in die Schleifeinheit gespannt.

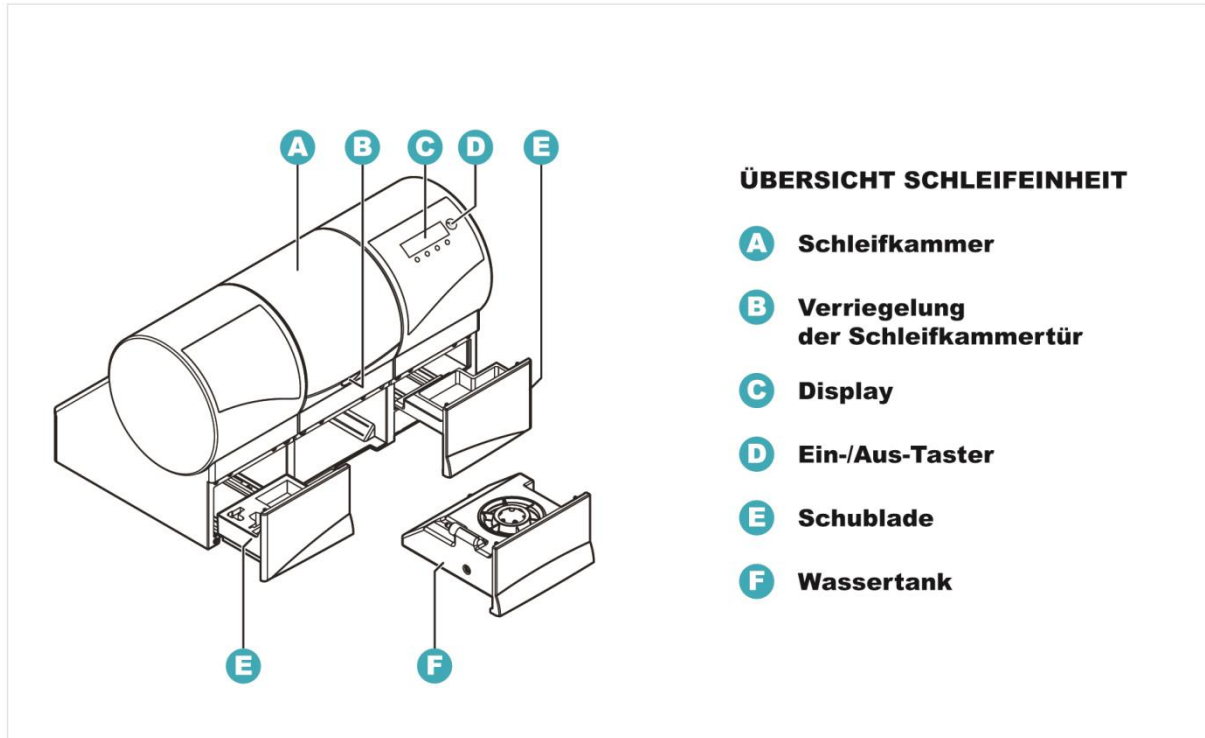


Abbildung 3 Funktionselemente der Fräseinheit.

Einführung

Der Keramikblock wird dazu in die Blockspannung des Schleifraumes geklemmt und mit der Kugeldruckschraube befestigt. Für das manuelle Einsetzen wird ein Blockspannwerkzeug mit Drehmoment verwendet.

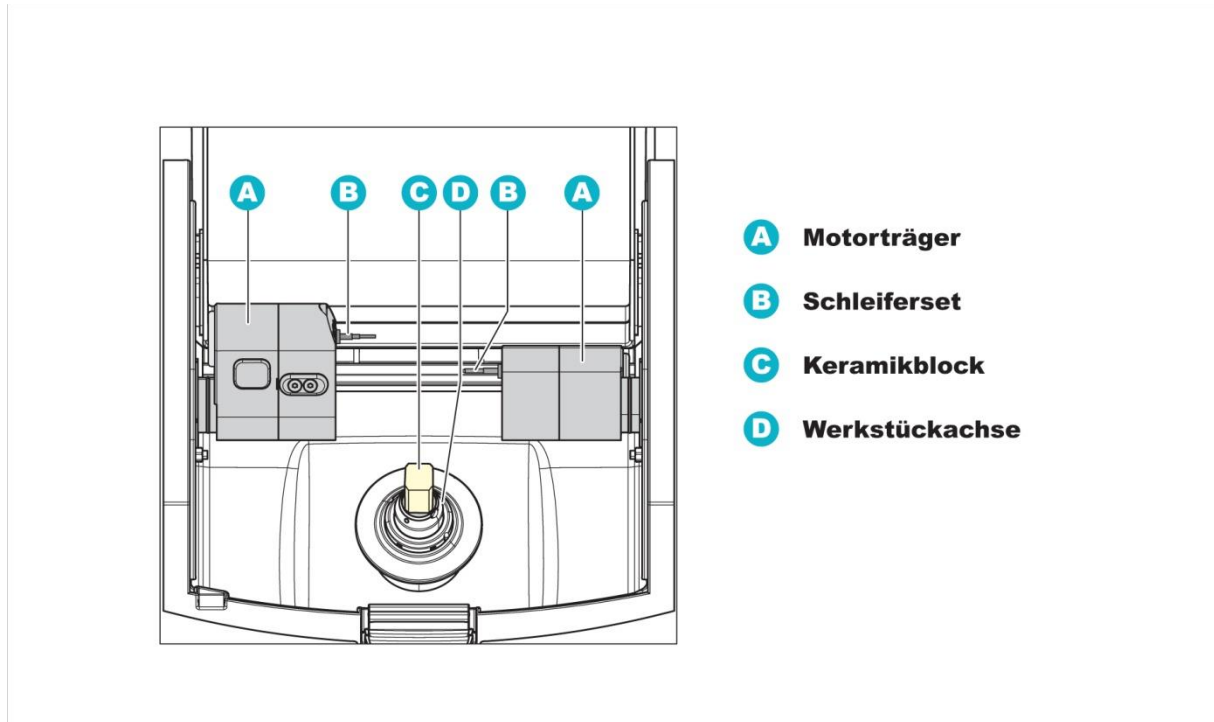


Abbildung 4 Schleifraum.

Unter Wasserkühlung beginnt das Schleifen der konstruierten Keramikkrone. Derzeit wird von Sirona (Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland) für alle *chairside*-Materialien, unter anderem IPS e.max CAD (Vivadent, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein), das in Abbildung 5 dargestellte Instrumentenpaar empfohlen.

MATERIAL	LINKS		RECHTS	
alle chairside Materialien*	Step Bur 12 S		Cylinder Pointed Bur 12 S	
	Step Bur 12			

Abbildung 5 Schleifinstrumente.

1.2 Keramik

Keramik ist ein anorganischer nichtmetallischer Werkstoff. Dieser zeichnet sich durch eine weitgehend wasserbeständige, kristalline Stoffmenge aus und wird durch Sinterung hergestellt.

Eine Definition der Dentalkeramik ist wegen der Vielzahl an Neuentwicklungen nur schwer allgemein zu fassen.

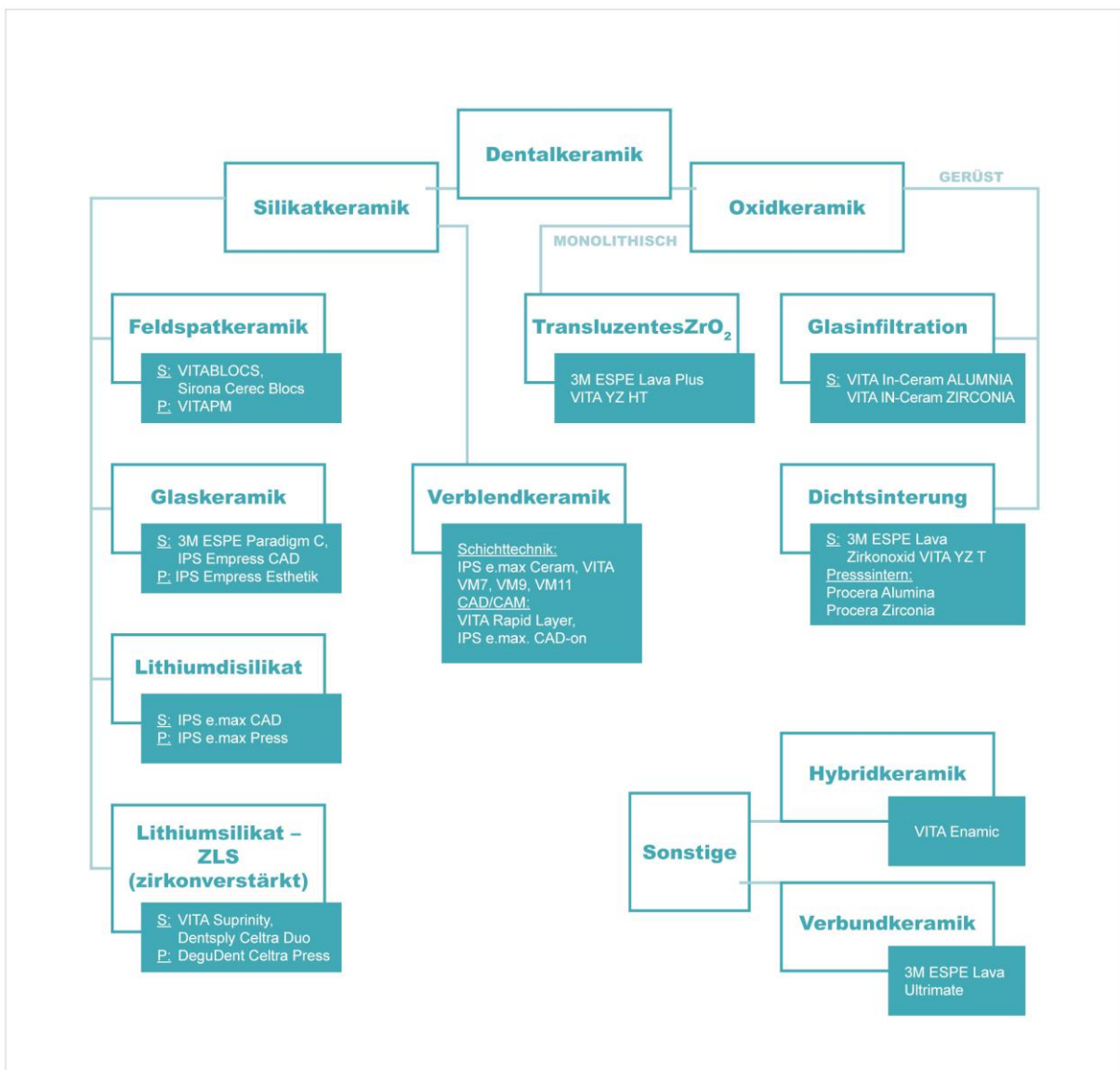


Abbildung 6 Übersicht der Dentalkeramiken; Schleifen (S); Pressen (P) nach 16.

Einführung

Dentalkeramiken werden durch vielfältige Verfahren erzeugt. So können die Keramik und ihre Derivate mittels Sinterung von pulverförmigen keramischen Massen, durch plastische Umformung von vorgefertigten glasigen Blöcken im schmelzflüssigen oder teigzähen Zustand, durch abtragende Bearbeitung solcher Blöcke mit und ohne nachträglicher Sinterung, durch Glasinfiltration vorgesinterter Strukturen oder auch durch eine Verknüpfung von mehreren der genannten Prozeduren hergestellt werden. Hierbei unterscheiden sich die industriell vorgefertigten Keramiken im CAD/CAM-Verfahren gegenüber den händisch geschichteten Restaurationen in der verbesserten Materialqualität und in der höheren Bruchfestigkeit der unter Standardbedingungen hergestellten Keramikrohlinge.

Es bestehen im Wesentlichen drei Einteilungen von Dentalkeramiken: Keramiken mit Glasphase (silikathaltige Keramiken, glasinfiltrierte Keramiken), Keramiken ohne Glasphase (Oxidkeramiken (polykristallin)) und Hybrid- und Verbundkeramiken mit Zusatz von Polymeren.

Alle Untergruppen der Dentalkeramiken zeichnen sich durch die für die Zahnmedizin relevanten Eigenschaften wie Abrasionsfestigkeit, Farbbeständigkeit, biologische Verträglichkeit und thermische Isolation aus. Gegenüber der metallkeramischen Restauration bietet die vollkeramische Restauration dem Patienten durch erhöhte Lichtleitung und -brechung ästhetisch klare Vorteile. Lichtoptische ästhetische Eigenschaften können durch die industrielle Herstellung mit Hilfe von Selektion und Justierung der Grundbausteine des Werkstoffes erzielt werden. Dem gegenüber stehen Materialschwächen. Keramik ist spröde und weist nur eine geringe Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit auf. Der Werkstoff ist punktuell hochbelastbar, reagiert aber auf Zugspannung empfindlich.

MATERIAL	RISSZÄHIGKEIT (MPa m ^{1/2})	BIEGEFESTIGKEIT (MPa)
Feldspatkeramik		
Mark II	1,1	154
Leuzitverstärkte Glaskeramik		
Empress esthetic	1,3	160
Lithiumdisilikatkeramik		
IPS e.max CAD (Blauling)	0,9–1,1	120–130
IPS e.max CAD	2,25	360
IPS e.max Press	2,75	400
Transluzente Zirkonoxidkeramik		
Lava Plus	5–10	1100
Andere		
ZLS (Vita Suprinity)	2,0	420
Hybridkeramik (Enamic)	1,5	150–160
Referenz		
Schmelz	1,0	20
Dentin	3,1	80

Abbildung 7 physikalische Kennwerte verschiedener Dentalkeramiken in Relation zur Zahnhartsubstanz¹⁷⁻²³.

1.2.1 Lithiumdisilikatkeramik

Zur Gruppe der Silikatkeramik gehört die Lithiumdisilikatkeramik, die sich durch eine amorphe, transparente Glasphase, in die kristalline Partikel (bis 70 Vol %) dispers verteilt eingelagert sind, auszeichnet. Die nadelförmigen Lithiumdisilikatkristalle beeinflussen durch ihre regelmäßige Ausrichtung und feine Verteilung der verstärkenden Partikel die Ästhetik und die Stabilität der Keramik und mit steigendem Anteil dieser Partikel erhöht sich die Festigkeit des Werkstoffes, wohingegen die Transluzenz sinkt. Wegen des überwiegenden Glasanteils entsteht eine Adaptation an die Umgebungsfarbe (Chamäleon-Effekt)^{16,17}. Gegenüber Zirkoniumdioxid weist Lithiumdisilikat bei einer Schichtstärke von 1 mm eine signifikant höhere Transluzenz auf²⁴.

Lithiumdisilikatkeramik kann in zwei unterschiedlichen Varianten erworben werden. Zum einen als CAD/CAM-Material (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und zum anderen als Presskeramik (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Sie sind in verschiedenen Transluzenzstufen und als polychromes Material erhältlich.

Einführung

TRANSLUZENZ	VERARBEITUNGS-TECHNIK			INDIKATIONEN										
	Mal-technik	Cut-back-Technik	Schicht-technik	Okklusales Veneer ¹	Dünnes Veneer ¹	Veneer	Inlay	Onlay	Teilkrone	Frontzahnkrone	Seitenzahnkrone	3-gl. Brücke ²	Hybrid-Abutment	Hybrid-Abutment-Krone
MULTI	✓	✓				✓					✓	✓		✓
HT High Translucency	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓					
MT Medium Translucency	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
LT Low Translucency	✓	✓				✓			✓	✓	✓	✓		✓
MO Medium Opacity			✓							✓	✓	✓	✓	
HO High Opacity			✓							✓	✓	✓		
I Impulse	✓	✓		✓	✓	✓								

Abbildung 8 IPS e.max Indikationen und Verarbeitungstechniken.

Erst beim Keramikbrand im Ofen kristallisiert die Restauration. Sie erreicht dann eine Biegefestigkeit von 360 MPa¹⁸ und gehört damit zu den hochfesten Keramiken und kann mit den bewährten Methoden befestigt werden¹⁶. Dies ist vor allem bei subgingivalen Präparationen ein wichtiges Entscheidungskriterium im Praxisalltag. Für Einzelzahnkronen werden Lithiumdisilikatkeramiken mit einer Häufigkeit von bis zu 54 % als Restaurationsmaterial verwendet²⁵. Dabei können die aus Presskeramik hergestellten Kronen und Brücken sowohl selbstadhäsiv als auch konventionell befestigt werden. Im Gegensatz zu Feldspat- und Glaskeramiken kann die Schichtstärke von Restaurationen aus Presskeramik auf 1 mm reduziert gestaltet werden²⁶. Dies erfordert eine adhäsive Befestigung bei der Eingliederung von minimalinvasiven prothetischen Versorgungen. Ausschließlich selbstadhäsiv oder adhäsiv sollten Restaurationen des neuen Werkstoffes Straumann n!ce (Straumann, Basel, Schweiz) eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um eine mit Lithium-Aluminosilikat verstärkte Silikatkeramik. Der Behandler kann nach dem Fräsvorgang und der Einprobe des Werkstückes direkt zur Ausarbeitung und Politur übergehen und auf den Brennvorgang verzichten.

1.2.2 IPS e.max CAD

Die für das CAD/CAM-Verfahren entwickelten Blöcke werden in den Größen 12, 14, 16, 32, 40 und 40L sowie in zwei Abutment Blockgrößen 14 und 16 angeboten und sollen damit das gesamte Spektrum von minimalinvasiven Kronen (1 mm), Kronen, Abutmentkronen, dreigliedrigen Brücken, Inlays, Onlays, über Teilkronen und Veneers (0,4 mm, okklusale Veneers) abdecken. Alle Blöcke sind in vier Transluzenzstufen (HT, MT, LT, MO) und zwei Impulse-Blöcken (Opal1, Opal2: ausgeprägte opaleszierende Eigenschaften) sowie dem Farbangebot der Vita Classic Farbskala von A bis D und BL (Bleachingfarben) erhältlich. Die Blöcke werden als Lithiummetasilikat (Blauling) mit einer geringen Biegefestigkeit von 120 MPa geliefert, wodurch sie materialschonend gefräst werden können (Abbildung 9).

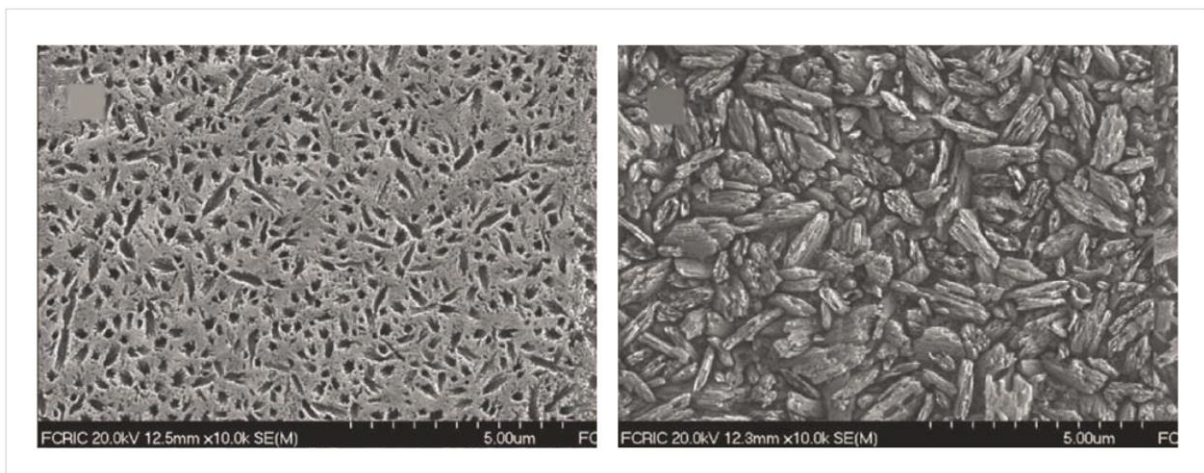


Abbildung 9 Rasterelektronenmikroskopaufnahme (FE-REM) von IPS e.max CAD Keramik; links Lithiummetasilikat; rechts Lithiumdisilikat.

Der Zahnarzt hat nach dem Fräsen und der Einprobe der Restauration folgende Verarbeitungsmöglichkeiten: polieren, dann kristallisieren; glasieren und kristallisieren oder bemalen; glasieren und kristallisieren jeweils in einem Schritt. Erst nach dem Kristallisationsbrand im Ofen (770-850°C) erreicht die Restauration eine biaxiale Biegefestigkeit von 530 MPa, und die Blockfarbe wandelt sich von blau zur entsprechenden Zahnfarbe ¹⁸ (siehe Abbildung 10). Während der Kristallisation schrumpft die Keramik um 0,2 %.



Abbildung 10 e.max CAD LT Block.

1.3 Befestigung

Keramiken können mit konventionellen, adhäsiven oder dualhärtenden Befestigungsmaterialien eingesetzt werden. Ausschlaggebend für die Entscheidung, welche Methode angewandt wird, sind die vom Material vorgegebenen Eigenschaften und Parameter. Des Weiteren unterscheidet man bei den mechanochemischen Verbundsystemen zwischen den mit Flusssäure ätzbaren Silikatkeramiken und den nicht mit Flusssäure ätzbaren Oxidkeramiken.

Für letztgenannte hochfeste Keramiken (Oxid-, Lithiumdisilikatkeramik, ZLS) mit einer Biegefestigkeit von mehr als 350 MPa gilt, dass sie sowohl konventionell als auch adhäsiv befestigt werden können, wohingegen Keramiken mit minimaleren Werten (Silikat-, Hybrid und Verbundkeramik) adhäsiv eingesetzt werden (physikalische Kennwerte verschiedener Dentalkeramiken siehe oben Abbildung 7)

16.

1.3.1 Konventionelle Befestigung

Kronen und Brücken aus Materialien mit entsprechend hoher Festigkeit können nach Angabe der Hersteller mit Zementen wie Zinkoxid-Phosphatzement oder Glasionomermertement eingesetzt werden. Konventionelles Zementieren, verglichen mit der unter 1.3.2 genannten Methode der adhäsiven Befestigung, zeichnet sich durch einen geringeren Arbeitsaufwand, eine weniger arbeitssensitive und eine kostengünstigere Arbeitsweise aus. Die klinische Durchführung ist auch dann noch möglich, wenn die Oberfläche des Arbeitsfeldes durch organische Substanzen kontaminiert sein sollte. Grundvoraussetzung für das Arbeiten mit Zementen ist jedoch eine Präparation nach den etablierten prothetischen Regeln: Der Pfeilerzahn sollte eine Friktions- bzw. Retentions- und Widerstandsform aufweisen sowie eine Rauigkeit von einem Feinkorndiamanten ISO-Norm 504 nicht unterschreiten.

1.3.2 Adhäsive Befestigung

Der Ablauf der adhäsiven Befestigungsmethode unterscheidet sich durch mehrere Behandlungsschritte von der konventionellen Zementierung. Zunächst sollte der präparierte Pfeilerzahn mittels Kofferdam absolut trockengelegt werden ²⁷. Darauf folgt die Vorbereitung des Werkstückes und des Zahnes durch die vom Hersteller empfohlene Säure-Ätz-Technik. Herkömmliche Silikatkeramiken werden mit 5% iger Flusssäure für 60 Sekunden geätzt, Lithiumdisilikatkeramiken nur für 20 Sekunden. Das mikroretentive Ätzmuster, welches durch das Anätzen entsteht, darf nach dem Absprayen der Flusssäure mit Wasserspray und dem Trocknen nicht mehr kontaminiert werden. Durch die Kondensationsreaktion der Keramik mit dem bifunktionellen Haftsilan entsteht eine organofunktionelle Gruppe. Diese geht aufgrund ihrer ungesättigten Doppelbindungen eine Polymerisationsreaktion mit den Kunststoffmolekülen aller gängigen Befestigungskomposite ein. Die adhäsive Befestigung hat den entscheidenden Vorteil, dass nicht nur die mechanische Retention, sondern ein chemischer Verbund zwischen Werkstoff und Zahnoberfläche entsteht. Zudem kann eine natürliche ästhetische Wirkung erzielt werden, da das Befestigungskomposit in der Farbe des Restaurationsmaterials gewählt werden kann.

Einführung

Lichthärtende Systeme sind in ihrer Anwendung problembehaftet. Einerseits birgt eine vorherige Polymerisation des Dentinadhäsivs die Gefahr, dass die Endposition der Restauration nicht sicher gefunden wird (*Pooling*), andererseits bildet sich bei Verzicht auf eine Adhäsivpolymerisation eine Sauerstoffinhibitionsschicht, die die vollständige Polymerisation möglicherweise verhindert. Auch eine große Materialstärke bzw. geringe Transluzenz der Restauration kann zu einer Qualitätsminderung der Polymerisation der Adhäsivschicht führen ¹⁶.

Um dem entgegenzuwirken, bieten einige Adhäsivsysteme die Möglichkeit an, Aktivatoren beizumischen. Diese initiieren eine dualhärtende Polymerisation.

Das *Pooling* und das Entstehen der Sauerstoffinhibitionsschicht können bei der Benutzung von selbstadhäsiven Befestigungskompositen vermieden werden. Weder eine Vorbehandlung mit Phosphorsäure noch mit einem Adhäsiv- und Bondingsystem ist hierbei im Bereich des Dentins nötig. Auch das vollständige Aushärten des Komposits bei opaken Restaurationen wird gewährleistet. Wegen des geringen Verbundes zwischen den Kompositen und dem Zahnschmelz wird die Befestigung von Adhäsivbrücken oder Veneers nicht empfohlen ¹⁶.

1.4 Langzeitstudien

Patienten erbitten Empfehlungen für ästhetische und langzeitbeständige Restaurationen. Vorangegangene Studien berichten von der risikobehafteten Anwendung von Vollkeramiken im Seitenzahnggebiet, da hier höhere okklusale Kräfte wirken als im Frontzahnbereich ²⁸⁻³¹.

Das Langzeitverhalten von monolithischen Kronen und Brücken aus Vollkeramiken wurde in zwei Studien erfasst. Eine Publikation untersuchte monolithische Brücken aus Lithiumdisilikatkeramik, die ein 10-Jahresüberleben von 87,9 % aufwiesen ³². Bei Feldspatkeramikbrücken, in Abhängigkeit vom Präparationsdesign, beobachtete eine zweite Studie ein 12-Jahresüberleben im Prämolarenbereich von 75,0–94,7 % und im Molarenbereich von 90,5–95 % ³³.

Die Überlebenswahrscheinlichkeit von 84,4 % im Seitenzahnggebiet für alle Kronen konnte in einer weiteren Langzeitstudie von sowohl verblendeten als auch unverblendeten leuzitverstärkten Glaskeramiken nach 11 Jahren ermittelt werden ³⁴.

Andere Publikationen, die sich vor allem auf verblendete Lithiumdisilikatkeramikbrücken beziehen, zeigten ein Überleben von 86,1–95,5 % nach 8–10 Jahren ³⁵⁻³⁹. Auch verblendete Aluminiumoxidkeramikbrücken ergaben Werte von 84,0 % nach 10 Jahren ⁴⁰. Im Gegensatz dazu erreichten Kronen aus glasinfiltrierter Aluminiumoxidkeramik nach 15 Jahren im Seitenzahnggebiet eine Freiheit von Misserfolgen von lediglich 68,3 % ³¹.

Für monolithische, *chairside*-hergestellte Lithiumdisilikatkeramikbrücken sind keine Langzeituntersuchungen verfügbar. Eine Evaluation der klinischen Qualität selbiger ist bisher nicht erfolgt.

1.5 Aufgabenstellung

Das keramische Material Lithiumdisilikatkeramik einigt hohe mechanische Stabilität und ästhetische, transluzente Elemente.

Dieser Werkstoff ermöglicht eine *chairside*-Herstellung von monolithischen Restaurationen im CAD/CAM-Verfahren und stellt damit eine Zeitersparnis für den Zahnarzt dar, da beispielsweise die Anfertigung einer provisorischen Versorgung entbehrlich ist. Eine weitere Behandlungssitzung wird so überflüssig.

Nach Kenntnis unserer Arbeitsgruppe sind derzeit keine Untersuchungen bekannt, die über Langzeitbewährung *chairside*-hergestellter, monolithischer Lithiumdisilikatkeramikronen über einen Zeitraum von 10 Jahren berichten.

Ziel dieser prospektiven Studie ist es, *chairside* hergestellte Einzelkronen im Seitenzahnggebiet aus monolithischer Lithiumdisilikatkeramik über einen Zeitraum von 10 Jahren hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität und klinischen Qualität zu beobachten.

Die Arbeitshypothesen lauteten, dass im *chairside*-Verfahren hergestellte Lithiumdisilikatkeramikronen im Seitenzahnggebiet im Vergleich zu Einzelzahnkronen anderer Herstellungsverfahren und aus anderen Materialien eine ähnliche Überlebenswahrscheinlichkeit aufweisen. Weiterhin wurde angenommen, dass keine Veränderung der klinischen Qualität der Kronen zwischen Baseline- und 10-Jahresuntersuchungen vorliegen.

2 Material und Methode

2.1 Studienpopulation

Die konsekutive Rekrutierung der Studienpopulation fand in der Zeitspanne vom 27.06.2006 bis 08.02.2007 statt. Es wurden 34 Probanden mit 41 monolithischen Lithiumdisilikatkeramikronen (IPS CAD LT Kronen, Ivoclar, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) versorgt. Dabei wurden 21 Kronen in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde des Universitätsklinikums Leipzig AöR und 20 Kronen in einer Zahnarztpraxis in Leipzig im *chairside*-Verfahren hergestellt. Die Probanden waren im Durchschnitt 46,6 (\pm 13,1; min. 26, max. 72) Jahre alt, wobei 21 weiblichen und 13 männlichen Geschlechts waren. Für die Untersuchungen und Teilnahme an der Studie wurden schwangere Probanden und Probanden, die Zeichen einer kranio-mandibulären Dysfunktion oder Xerostomie zeigten, ausgeschlossen. Eine maximale Sondierungstiefe von \leq 3,5 mm durfte nicht überschritten werden, und es durften keine Entzündungszeichen ersichtlich sein.

Die Topographie der Pfeilerzähne umfasste ausschließlich den Seitenzahnbereich (davon 24,39 % Prämolaren/ davon 75,60 % Molaren). Es kamen nur vitale (48,78 %) oder mindestens sechs Monate zuvor endodontisch erfolgreich behandelte Ankerzähne (51,22 %) für die Studie in Frage. An vitalen Molaren konnten fünfzehn Restaurationen eingesetzt werden, an vitalen Prämolaren fünf Kronen und einundzwanzig weitere an erfolgreich endodontisch behandelten Zähnen, wobei von den wurzelbehandelten Zähnen elf mit Glasfaserstift und fünf mit einem adhäsiven Stumpfaufbau versorgt wurden. Ein Zahn bekam einen metallenen Stiftstumpfaufbau. Die schriftliche Einverständniserklärung jedes Probanden war Grundvoraussetzung zur Teilnahme. Die Ethikkommission der Universität Leipzig hatte die Studie unter der Nummer 103-2006 zuvor genehmigt.

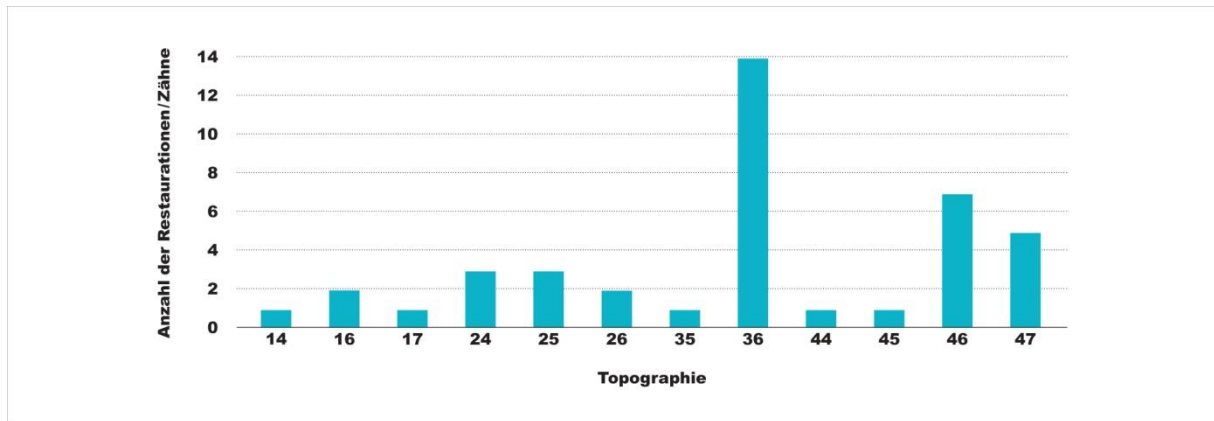


Diagramm 1 Verteilung der Pfeilerzähne im Seitenzahngebiet.

2.2 Präparationsrichtlinien

Vier Zahnärzte führten die Präparation von zusammengefasst 41 Kronen durch, wobei alle Zahnärzte zuvor im Rahmen eines CEREC-Kurses geschult wurden. Nach Kalibrierung sollten folgende Präparationsrichtlinien während der Anfertigung beachtet werden. Die Präparation einer abgerundeten Stufe oder einer ausgeprägten Hohlkehle im Randbereich sollte mindestens 1 mm betragen. Des Weiteren wurde im Höckerbereich der minimale Substanzabtrag auf 2 mm und in der Fissur auf 1,5 mm festgelegt.

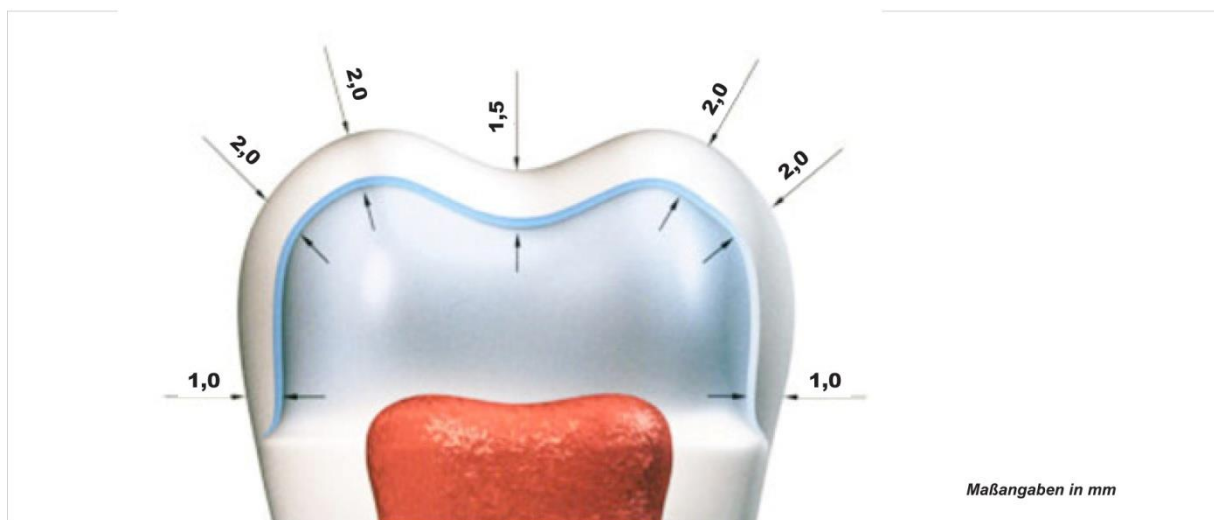


Abbildung 11 Präparationsrichtlinien.

2.3 Abformung

Nach der Präparation erfolgte eine optische Abformung mittels Infrarot-Kamera (CEREC-3-Einheit, Sirona (Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland), Salzburg, Österreich), die mit einer Wellenlänge von 820 *nm* arbeitet.

Zur digitalen Abformung des präparierten Stumpfes konnten Retraktionsfäden verwendet werden. Es wurden drei okklusale Einzelbilder in Einschubrichtung von der Präparation sowie von dem mesialen und distalen Nachbarzahn aufgenommen. Bei mangelhafter Darstellung der drei Einzelbilder durften zwei weitere Bilder erstellt werden.

Zur Überführung der statischen Okklusion und der Beziehung des präparierten Stumpfes zum Antagonisten in ein 3D-Modell wurde die optische Abformung mittels Bissregistrats (Metal Bite, r-dental, Hamburg, Deutschland) konstruiert. Außerdem wurde ein 3D-Modell in dynamischer Okklusion gescannt, das ebenfalls mit Hilfe eines Bissregistrats erstellt wurde. Für die Darstellung dieser Scans wurden erneut intraorale Bilder vom mesialen und distalen Nachbarzahn sowie vom präparierten Stumpf aufgenommen.

2.4 Herstellung der Krone

Zur erfolgreichen Digitalisierung der intraoralen Situation konnten die drei 3D-Modelle zunächst mittels CEREC-Software 2.9 (Sirona (Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland), Salzburg, Österreich) gematcht werden. In einem weiteren Schritt wurde die Krone konstruiert, wobei der Zahnarzt bei den Molaren minimal drei und bei den Prämolaren minimal zwei okklusale Kontaktpunkte designte.

Zu Beginn der Studie 2006 waren nur monochrome Keramikblöcke in den Farben A1, A2, A3 und B1 käuflich zu erwerben. Die Werkstücke wurden aus einem Blauling gefräst (CEREC-3-Fräseinheit, Sirona, Dental System GmbH, Bensheim, Deutschland), welcher einen Metasilikat-Status der Lithiumdisilikatkeramik darstellt. Die Fräsung geschah mit Hilfe eines zylindrischen Diamanten ($\varnothing 1,6 \text{ mm}$). In einem weiteren Schritt erfolgte die Einprobe der Restauration am Patienten. Es wurden die interne Passung, die Approximalkontakte sowie die statische und dynamische Okklusion kontrolliert. Der Blauling wurde mit einer Glanzpaste (IPS e.max CAD Crystall/Glaze Paste, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) versehen.

Material und Methode

Es schloss sich die Kristallisation der Kronen im Ofen (Programat CS, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) an.

2.5 Adhäsives Einsetzen

Zur intraoralen Aufnahme der Restauration wurde sowohl die Zahnoberfläche als auch die Krone wie folgt vorbereitet: Die Intaglio-Oberfläche des Werkstückes wurde mit 5% iger Flusssäure (IPS Empress etch, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) 20 Sekunden geätzt. Nach der rückstandslosen Reinigung mit Wasser wurde in einem weiteren Schritt ein Haftsilan (Monobond S, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) für 60 Sekunden aufgetragen und danach mit dem Luftstrom der Multifunktionsspritze getrocknet. Die Säuberung der Oberfläche des präparierten Stumpfes erfolgte mit Bimsstein und Handinstrumenten. Bei Bedarf konnte ein Gingiva-Retraktionsfaden gelegt werden. Das Kronenlumen wurde mit einem selbstadhäsiven Zement (Multilink Sprint, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) befüllt und die Restauration eingesetzt. Nach dem Entfernen aller Überstände härtete das Befestigungsmaterial durch den Einsatz von Licht (mindestens 600 mW/cm^2 und mindestens 40 Sekunden von allen Seiten), aus. Im Anschluss kontrollierte der Behandler Approximalkontakte, Statik und Dynamik und korrigierte gegebenenfalls nach.

2.6 Nachkontrollen

Zwei unabhängige Zahnärzte führten die Nachuntersuchungen durch. Diese begannen mit der Baseline-Untersuchung. Es folgten erneute Kontrollen nach 12, 24, 36, 48, 60, 72 und 120 Monaten. Das Ausfüllen der Untersuchungsbögen, die sowohl die modifizierten Kriterien des *US Public Health Services* (USPHS) als auch Angaben zum Parodontalen Screening Index (PSI) beinhalteten, führte eine dritte unabhängige Person durch (siehe Anhang 10.1 bis Anhang 10.3). Bei auftretenden Abweichungen der Beurteilung der beiden Zahnärzte wurde im Anschluss an die Untersuchung ein Konsens diskutiert. Keiner der Untersucher war an der Anfertigung oder Insertion der Studienkronen beteiligt.

2.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung (IBM SPSS Statistik Version 22, IBM, Ehningen, Deutschland) aller Nachuntersuchungen erfolgte anhand der Kaplan-Meier-Analyse, des Log-Rank-Tests und des Wilcoxon-Vorzeichenrangtests. Das Niveau der Signifikanz wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

2.7.1 Randomisierung

In klinischen Studien wird die Untersuchung nur einer Restauration pro Proband empfohlen ⁴¹. In der vorliegenden Studie wurde für die sieben mit zwei Restaurationen versorgten Probanden eine zufällige Zuordnung mittels Randomisierungsliste durchgeführt. Für die statistische Auswertung wurde daher nur eine Krone pro Proband herangezogen.

2.7.2 Überlebensanalyse

Die Kaplan-Meier-Überlebensanalyse dieser Studie basiert auf einer Überlebenswahrscheinlichkeit (*failure-free rate*) und einer komplikationsfreien Rate (*complication-free rate*). Misserfolge sind Ereignisse, die zum Ausschluss der Restauration führen. Zudem wird ein Misserfolg analog als Komplikation gewertet. Sowohl die Misserfolge als auch die Komplikationen werden dabei in biologische und technische Ursachen unterschieden.

Als biologische Ursachen werden kariöse Läsionen unterhalb des Kronenrandes, Frakturen der Aufbaufüllung und ein Bedarf einer endodontischen Behandlung definiert. Technische Ursachen liegen bei Kronenfraktur, Retentionsverlust oder *Chipping* vor.

2.7.3 Qualitative Beurteilung der Restaurationen

In der vorliegenden Studie fanden die modifizierten Richtlinien des US Public Health Services Verwendung. Sie ermöglichen eine qualitative klinische Bewertung mit einer Skalierung von sehr gut (*Alpha 1*) über gut (*Alpha 2*) bis zu ausreichend (*Bravo*), mangelhaft (*Charlie*) und schlecht (*Delta*). Die Kriterien Oberfläche, Farbe, Übergang Kronenrand, Klebefuge, Integrität Zahn und Krone, Approximalkontakt, Sensibilität, Beschwerden und Compliance wurden dabei einer Bewertung unterzogen. Die detaillierte Unterteilung aller Kriterien und Beurteilungen sind dem Anhang 10.1 bis Anhang 10.3 zu entnehmen.

3 Ergebnisse

3.1 Recall-Raten

Im Nachuntersuchungszeitraum von 10,1 ($\pm 0,2$) Jahren konnten 26 Studienteilnehmer untersucht werden. Eine Darstellung der Probanden im Recall nach Untersuchungsmonaten ist in Abbildung 12 aufgelistet.

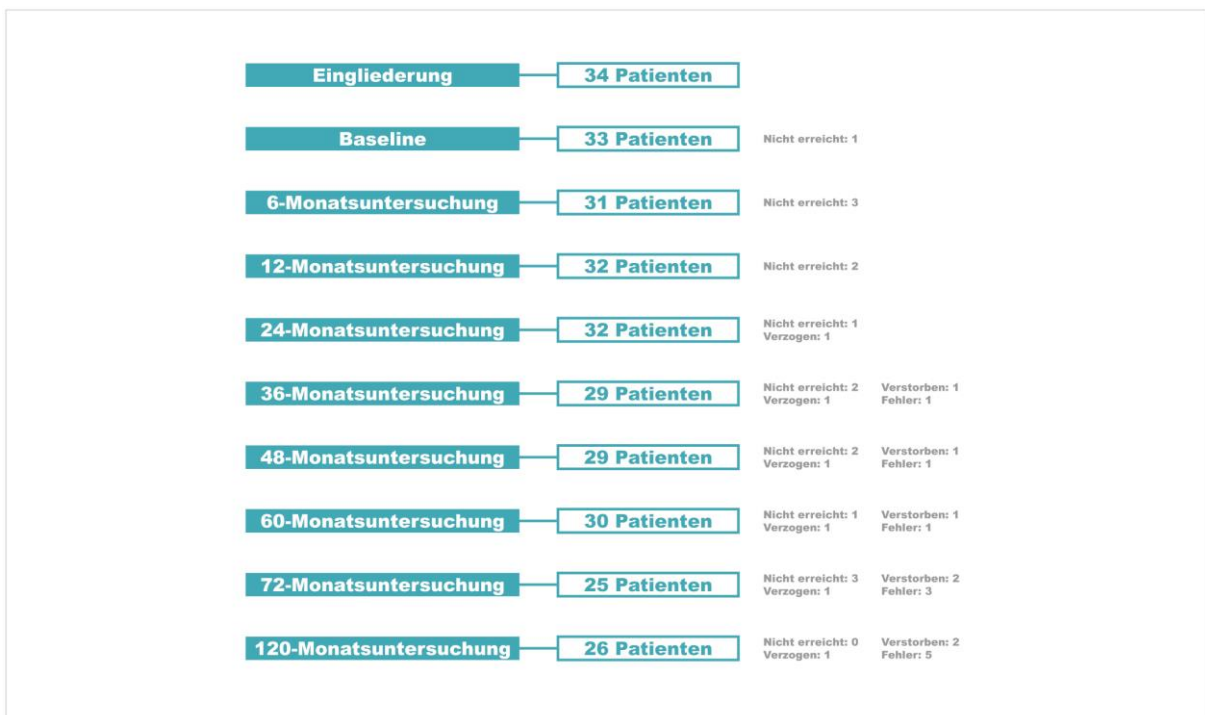


Abbildung 12 Übersicht über die Anzahl der Recall-Teilnehmer und die Gründe für eine fehlende Nachuntersuchung.

3.2 Überlebensanalyse

Eine ausführliche Aufzählung aller Komplikationen und Fehler ist dem Anhang 10.4 zu entnehmen.

3.2.1 Technische Komplikationen und Misserfolge

Eine technische Komplikation im Sinne einer Dezentrierung einer Restauration wurde nach zwei Jahren festgestellt (Studiennummer (SN) 16, Zahn 46, t₂₄). Krone und Stumpf waren unbeschädigt, so dass das Befestigungsmaterial vollständig aus

Ergebnisse

dem Kronenlumen entfernt, der Stumpf mit Bimsmehl gereinigt, die Kronenoberfläche mit Flusssäure 20 Sekunden geätzt, mit Monobond S (Ivoclar, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) für 60 Sekunden silanisiert und mit selbstadhäsivem Zement (RelyX Unicem, 3M, Seefeld, Deutschland) erneut befestigt werden konnte. Die Krone blieb weiterhin Bestandteil der klinischen Studie.

Zudem wurde nach 2,9 Jahren ein technischer Fehler diagnostiziert. Es handelte sich dabei um eine Fraktur einer Restauration am Molaren (SN 10, Zahn 17, t_{36}).

3.2.2 Biologische Komplikationen und Misserfolge

Der bei der Sensibilitätsprobe in unversorgtem Zustand positiv reagierende Zahn (SN 2, Zahn 36, t_0), sprach bei der Baseline-Untersuchung negativ auf die Probe mit Kältespray an. Dieses Ereignis wurde in die Studie als Komplikation aufgenommen. Der Pfeilerzahn war über den gesamten zehnjährigen Beobachtungszeitraum beschwerdefrei und röntgenologisch unauffällig.



Abbildung 13 Pfeilerzahn 36 (SN 2, Zahn 36, t_{120}) nach 10 Jahren.

Eine endodontische Behandlung wurde nach 1,1 Jahren an einem weiteren Zahn (SN 37, Zahn 36, t_{24}) eingeleitet. Die Restauration, im Studienverlauf als Komplikation eingestuft, konnte vollständig entfernt und anschließend mit einem selbstadhäsivem Zement (Multilink Sprint, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) wiederbefestigt werden. Die Entwicklung einer kariösen Läsion am Kronenrand an zwei Pfeilerzähnen während der laufenden Nachuntersuchungen wurde ebenfalls als

Ergebnisse

Komplikation aufgenommen. Beide Zähne wurden mittels Füllungen versorgt (SN 19, Zahn 36, t_{24} , t_{36}), (SN 6, Zahn 47, t_{48}). Nach 120 Monaten musste die Krone am Zahn 36 entfernt werden, da wiederholt eine kariöse Läsion auftrat. Dies wurde im Studienverlauf als Fehler gewertet.

Ein Studienzahn musste nach 6 Jahren wegen einer akuten Exazerbation, einer Parodontitis apicalis chronica, extrahiert werden (SN 18, Zahn 36, t_{72}). Ebenfalls nach 6 Jahren führte eine kariöse Läsion unterhalb der Aufbaufüllung zu einer Fraktur des Zahnstumpfes, die Krone konnte in diesem Fall nicht rezementiert werden (SN 31, Zahn 47, t_{72}). Beide Vorkommnisse wurden als biologisches Ereignis gewertet. Ein weiterer Pfeilerzahn (SN 32, Zahn 46, t_{84}) wurde nach 7 Jahren extrahiert, da bei diesem eine Wurzellängsfraktur diagnostiziert wurde (Abbildung 14).

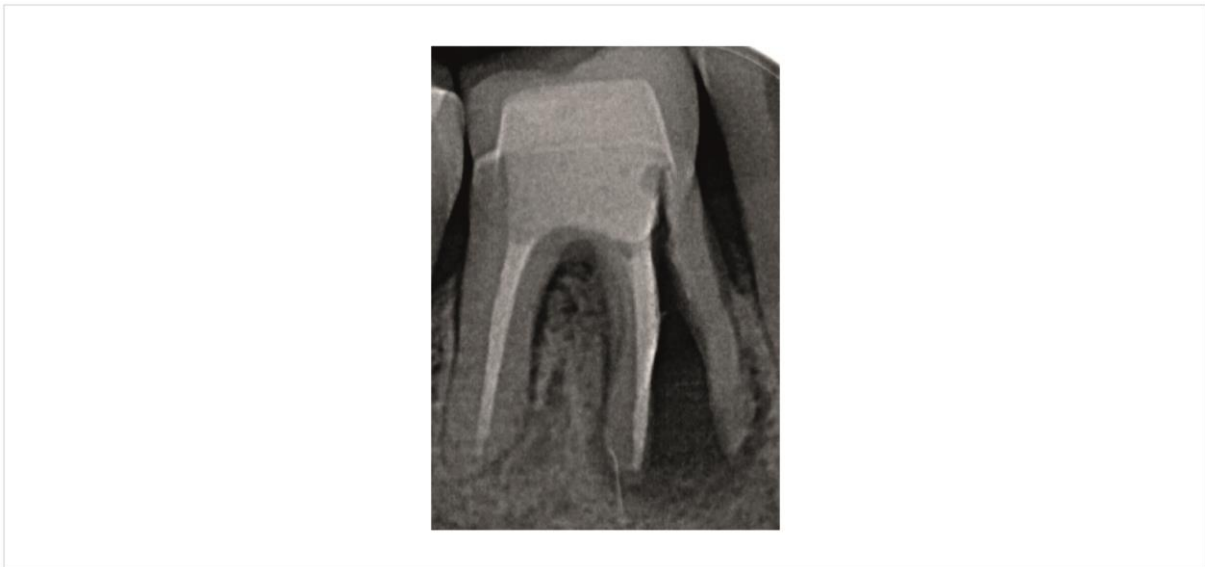


Abbildung 14 Pfeilerzahn 46 (SN 32, Zahn 46, t_{84}) mit Wurzellängsfraktur nach 7 Jahren.

Im Laufe der Nachuntersuchungen ist eine deutliche Zunahme der *Alpha 1*-Bewertungen für das Kriterium Okklusion zu erkennen.

Die Beziehungen der Restaurationen zum Nachbarzahn konnte in den meisten Fällen mit *Alpha 1* oder *Alpha 2* bewertet werden.

Ein Proband (SN 30, Zahn 24, t_{48}) zeigte im Zuge der 48-Monatsuntersuchungen einen zu schwachen (*Charlie*) Approximalkontakt mit Traumatisierung der Papille. Dies wurde bei den darauffolgenden Intervallen von 60 und 72 Monaten nicht bestätigt. Bei den 10-Jahresuntersuchungen konnte eine nur mit *Alpha 2* zu bewertende Beziehung zwischen Zahn und Nachbarzahn festgestellt werden.

Ergebnisse

Drei Restaurationen (SN 3, Zahn 46, t_{120}), (SN 20, Zahn 36, t_{120}), (SN 24, Zahn 25, t_{120}) mussten mit dem klinischen Urteil *Bravo* während der 10-Jahresuntersuchungen beurteilt werden, da sich bei der Probe mit Okklusionspapier nur schwache Kontakte nachweisen ließen.

Kaplan-Meier-Analyse

Die Berechnungen ergaben in Anbetracht aller technischen und biologischen Fehler eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 83,5 % mit einem 95 %-Konfidenzintervall [KI] von 70,2-96,8 % nach 10 Jahren. Betrachtet man alle technischen und biologischen Komplikationen und Fehler ergibt sich daraus eine komplikationsfreie Überlebenswahrscheinlichkeit von 71,0 % [95 % KI 54,9-87,1 %]. Der detaillierte Verlauf der Kaplan-Meier-Kurven ist in Diagramm 2 dargestellt.

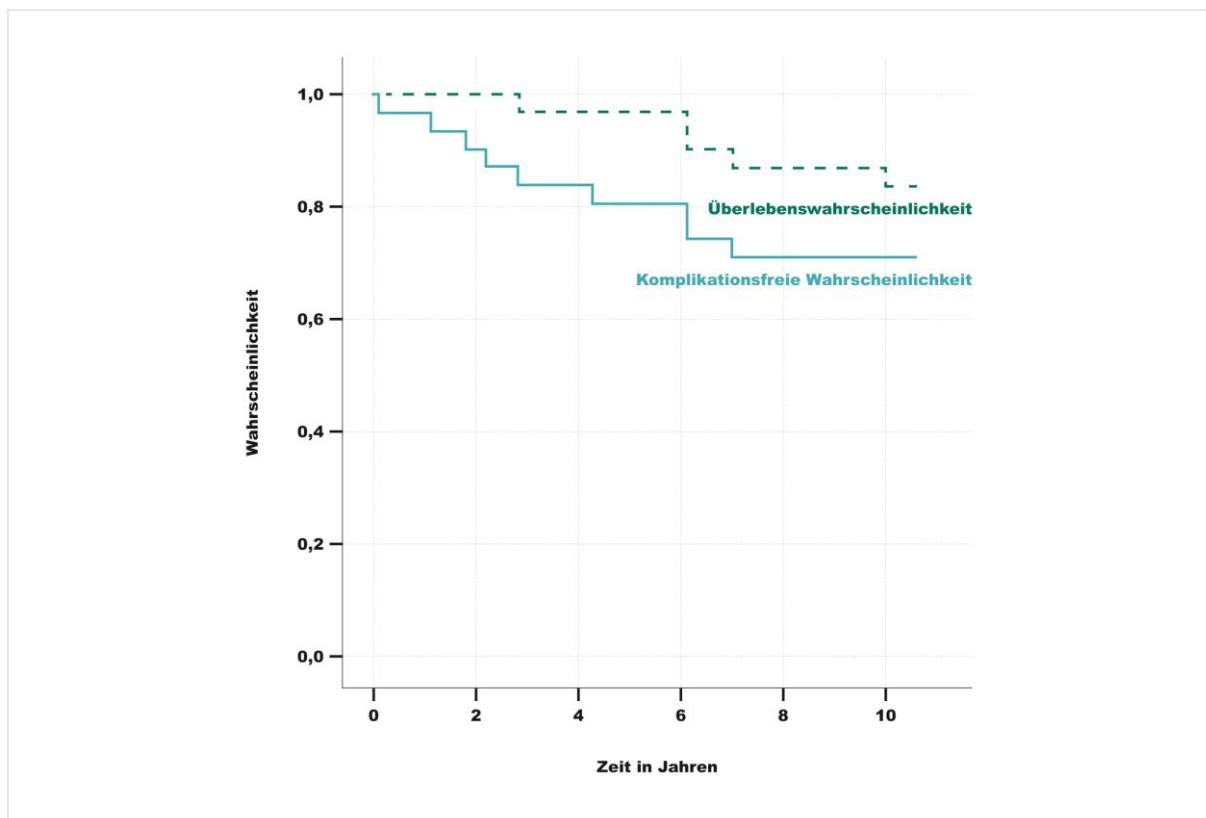


Diagramm 2 Kaplan-Meier-Kurve für die Überlebenswahrscheinlichkeit und die komplikationsfreie Wahrscheinlichkeit nach einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren (n = 26).

Alle Komplikationen während des zehnjährigen Beobachtungszeitraumes ließen sich an Molaren feststellen. Daraus errechnet sich eine komplikationsfreie Wahrscheinlichkeit von 60,9 % [95 % KI 40,9-80,9 %] für den Molarenbereich.

Ergebnisse

Alle acht Kronen der Prämolaren waren komplikations- und damit auch fehlerfrei. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant (Log-Rank-Test: $p=0,005$).

3.3 Qualitative Beurteilung nach modifizierten USPHS-Kriterien

3.3.1 Oberfläche

Die Restaurationsoberflächen wurden mit klinisch *Alpha 1*- und *Alpha 2*-Bewertungen bemessen. Im Untersuchungsverlauf traten an einigen Kronen Anzeichen von Abrasion und Attrition auf. Nach 10 Jahren wurden im Vergleich zur Baseline-Untersuchung 29,6 % mehr *Alpha 2*-Bewertungen vergeben. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest: $p=0,012$).

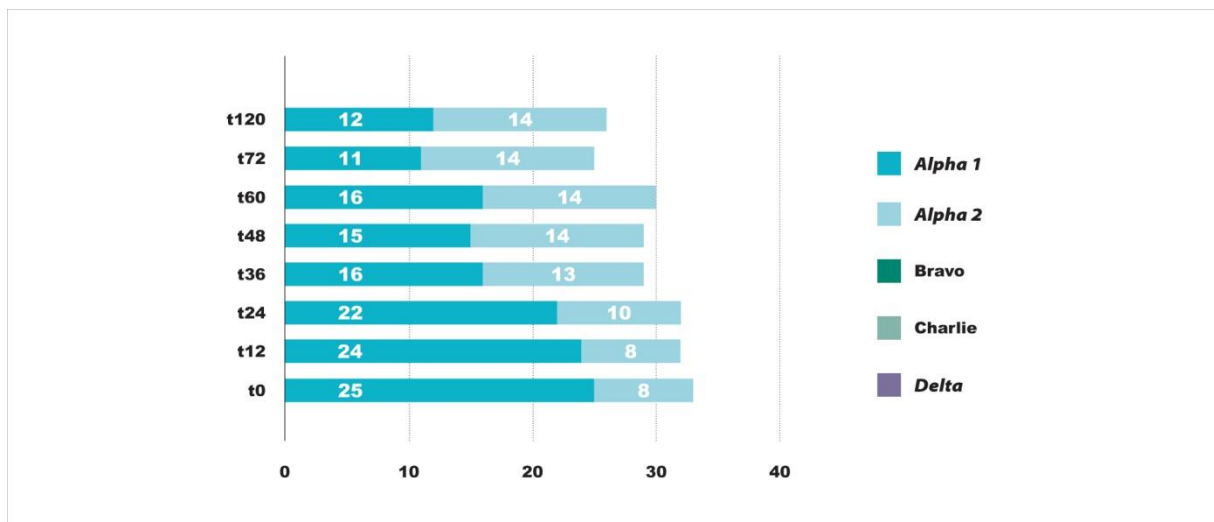


Diagramm 3 Bewertung der Keramikoberfläche zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

Ergebnisse

3.3.2 Farbe

Die Beurteilung der Zahnfarbe ergab Bewertungen im *Alpha 1*-bis *Alpha 2*-Bereich. Zwischen Baseline und der 120-Monatsuntersuchung ließen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede feststellen (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest: $p=1,000$).

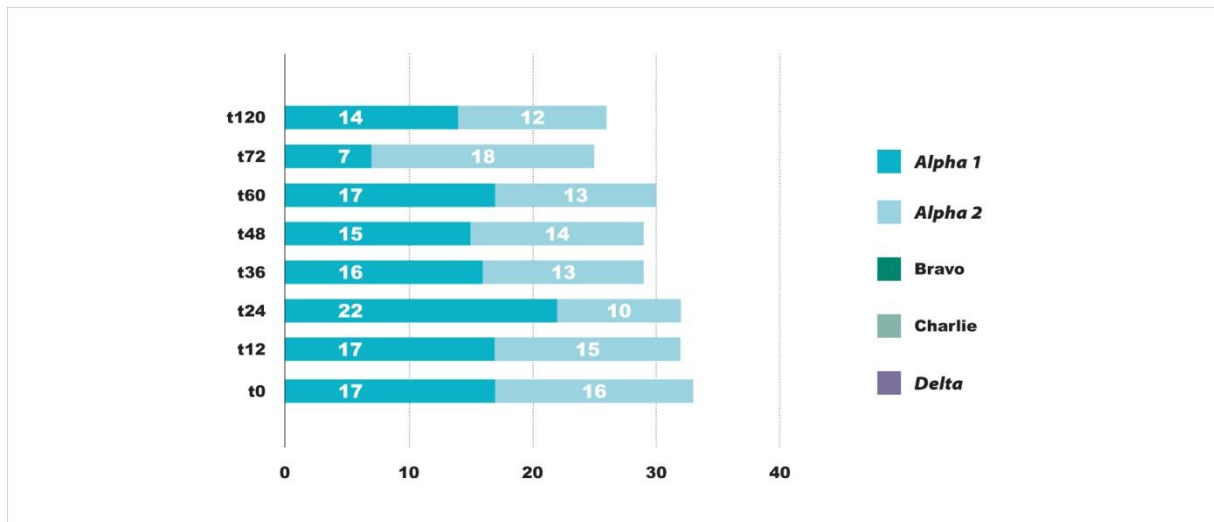


Diagramm 4 Bewertung der Keramikfarbe zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

3.3.3 Klebefuge

Nach 120 Monaten wurde die Klebefuge in zweiunddreißig Fällen mit *Alpha* und in einem Fall mit *Bravo* beurteilt.

Eine Krone eines Probanden (SN 4, Zahn 46, t_0) mit einer *Bravo* bewerteten Klebefuge zur Baseline-Untersuchung, konnte nach 24 Monaten nicht erneut kontrolliert werden (Patient verstorben). Kariöse Läsionen am Kronenrand bei zwei Patienten (SN 19, Zahn 36, t_{24} , t_{36}) (SN 6, Zahn 47, t_{48}) führten zu einer klinisch schlechten Bewertung. Die kariösen Läsionen wurden unter absoluter Trockenlegung selektiv mit Fluss- (Keramik) und Phosphorsäure (Zahn) geätzt und unter Verwendung eines Adhäsivsystems (Syntac classic, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und eines dünnfließenden Komposits (Tetric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) vollständig exkaviert und anschließend gefüllt.

Bei den 24-Monatsuntersuchungen wurde bei einer Studienkrone (SN 37, Zahn 36, t_{24}) das Kriterium *Bravo* vergeben, nachdem das Auftreten einer irreversiblen Pulpitis das Entfernen der Krone erforderte. Die intakte Restauration konnte nach erfolgreicher endodontischer Behandlung mittels Multilink Sprint (Ivoclar Vivadent,

Ergebnisse

Schaan, Liechtenstein) befestigt werden. Die Unterschiede zwischen Baseline- und 10-Jahresuntersuchung innerhalb des Bewertungskriteriums Klebefuge sind statistisch signifikant (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest: $p = 0,005$).

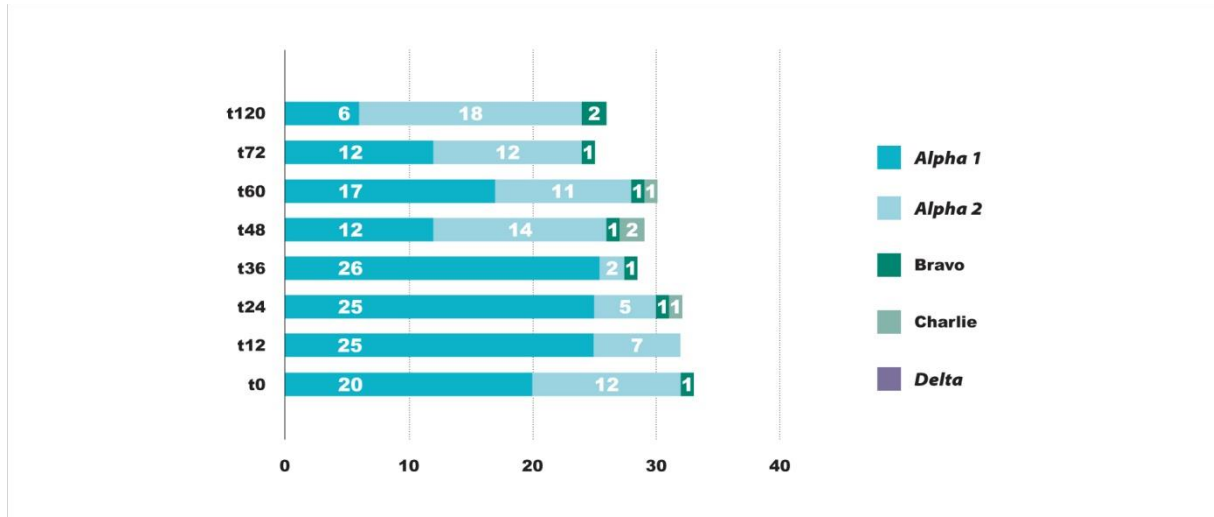


Diagramm 5 Bewertung der Klebefuge zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

3.3.4 Integrität Zahn

Die Integrität der Zähne wurde zu allen Untersuchungszeitpunkten mit *Alpha 1* bewertet.

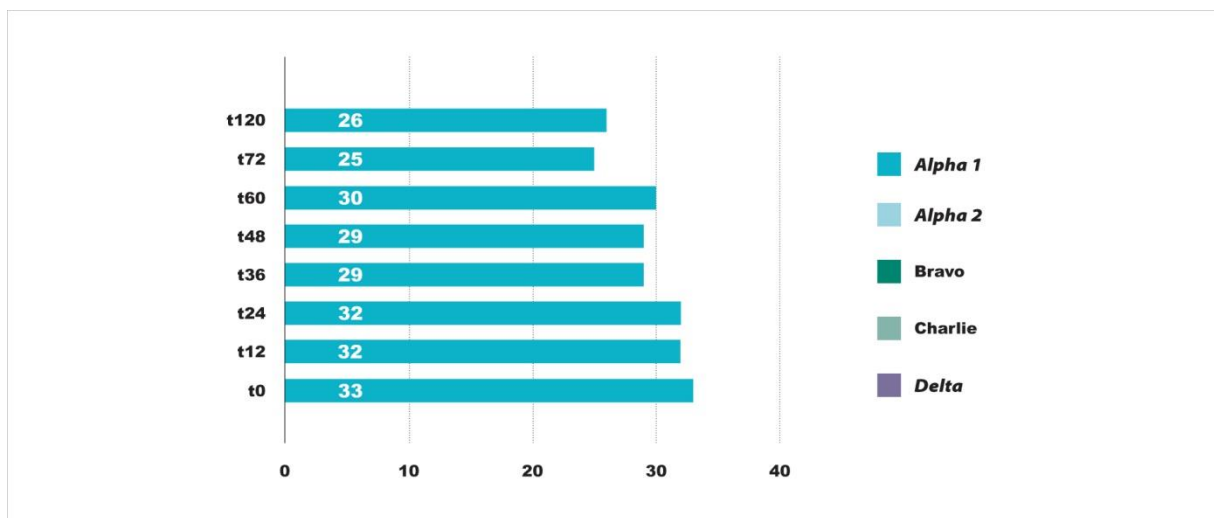


Diagramm 6 Bewertung der Zahnintegrität zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

3.3.5 Integrität Krone

Bis einschließlich des 48-Monatsintervalls konnte die Integrität aller Kronen durchgehend mit *Alpha 1* bewertet werden. Danach zeigten vier Kronen Absplitterungen im Bereich von maximal 0,1 mm, welche rekonturierbar waren.

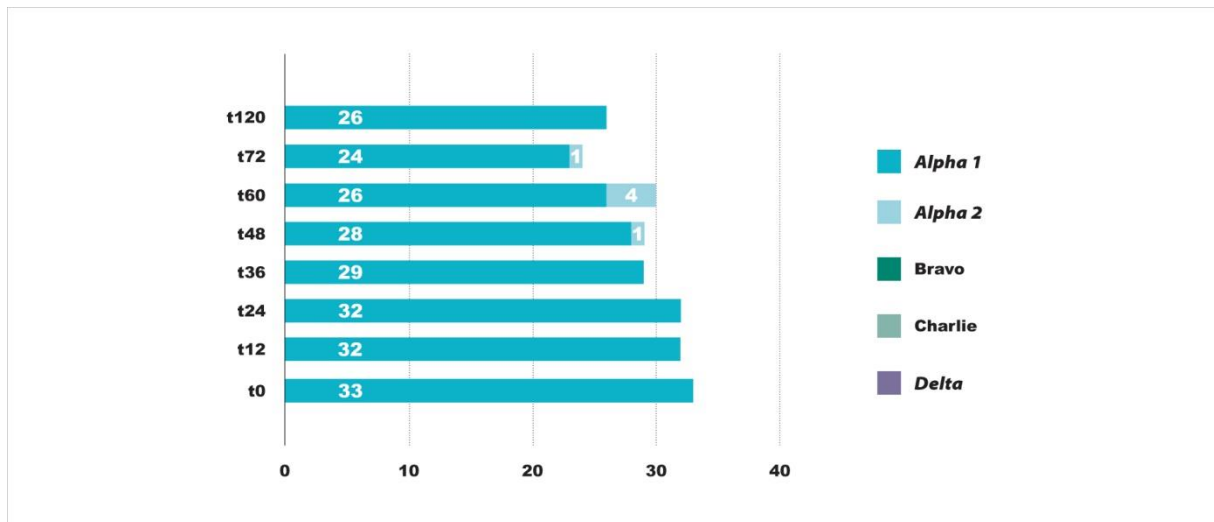


Diagramm 7 Bewertung der Integrität der Restauration zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

3.3.6 Beschwerden

Ein Patient (SN 20, Zahn 36, t₀) gab bei der Baseline-Untersuchung eine starke Aufbissempfindlichkeit (*Delta*) an. Nach Beseitigung eines Frühkontaktes wurde der Patient beschwerdefrei entlassen.

Ein Proband (SN 22, Zahn 26, t₆₀, t₇₂, t₁₂₀) bemängelte die Impaktion von Speiseresten (*Beta*), durch einen zu schwachen Approximalkontakt. Der Patient wünschte jedoch keine Korrektur.

Bei der 10-Jahresnachuntersuchung bemängelte ein Proband (SN 24, Zahn 25, t₁₂₀) eine Druckdolenz in der Umschlagfalte Regio 26/25. Auch nach röntgenologischer Kontrolle mittels Orthopantomogramm konnten sich keinerlei Pathologien diagnostizieren lassen.

Es zeigte sich eine statistisch signifikante Verbesserung der Bewertungen innerhalb dieser Kategorie von Baseline- zur 10-Jahresnachkontrolle (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest: p=0,005).

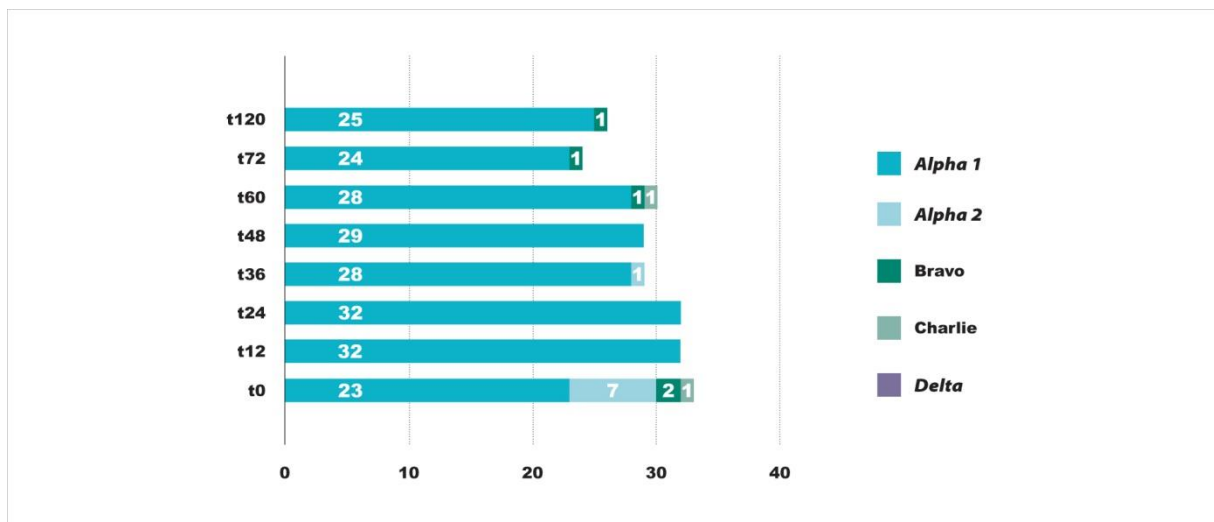


Diagramm 8 Bewertung der Beschwerden zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

3.3.7 Compliance

Zum Untersuchungszeitpunkt t_0 wies ein Proband (SN 24, Zahn 25, t_0) darauf hin, er sei mit dem Behandlungsergebnis unzufrieden (*Delta*). Die Ursache war jedoch in den postoperativen Schmerzen, die im Zusammenhang mit einer Augmentationsmaßnahme im Unterkiefer standen, zu suchen. Zu den übrigen Nachuntersuchungsterminen wurden die Beschwerden nicht mehr geschildert.

Ein Proband (SN 9, Zahn 26, t_{36} , t_{72}) beklagte während der Untersuchungen nach 36 und 72 Monaten das Einbeißen von Speiseresten. Ein weiterer Proband (SN 24, Zahn 25, t_{72}) bemängelte, auf Nachfrage einen zu langen Nachuntersuchungszeitraum während der 72-Monatsuntersuchungen.

Bei den 10-Jahresuntersuchungen gab ein Proband (SN 23, Zahn 47, t_{120}) an, dass das lange Öffnen des Mundes schwerfiele und deswegen eine erneute Krone mittels CAD/CAM-Technik nicht mehr in Frage kommen würde. Zudem wäre der Zeitaufwand einfach zu hoch (*Bravo*).

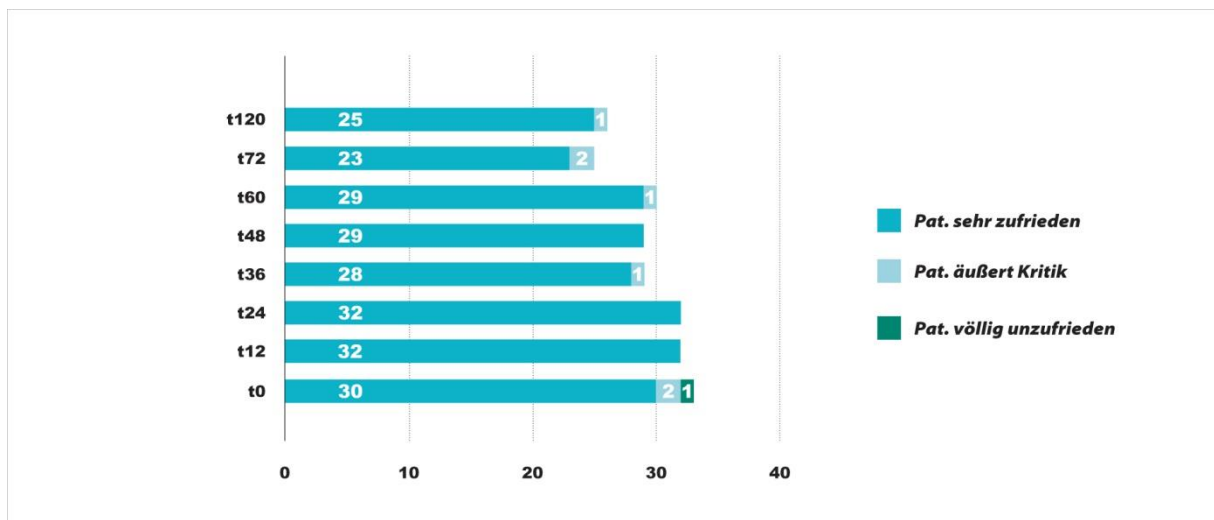


Diagramm 9 Bewertung der Compliance zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

4 Diskussion

4.1 Gegenstand der Diskussion

In der vorliegenden Studie stehen zum ersten Mal Untersuchungsergebnisse über *chairside*-gefertigte monolithische Lithiumdisilikatkeramikkronen im Seitenzahnggebiet in einem langfristigen Beobachtungszeitraum zur Verfügung. Erstmals erfolgte eine qualitative Bewertung von *chairside*-gefertigten Lithiumdisilikatkeramikkronen über einen Zeitraum von 10 Jahren durch modifizierte USPHS-Kriterien. Dieser Untersuchungszeitraum ermöglicht eine Empfehlung über die langfristige, klinische Anwendung von monolithischen Lithiumdisilikatkeramikkronen im Seitenzahnggebiet.

4.2 Methodische Stärken und Schwächen

Bei der vorliegenden Studie handelt sich um eine prospektive Studie, deren Vorteil gegenüber retrospektiven Studien in der höheren Datenqualität und der damit verbundenen höheren Aussagekraft liegt. Bereits in der Studienplanung können der optimale Studienprobenumfang, hier durch Randomisieren, ermittelt sowie die zu erhebenden Daten in geeigneter Skalierung, hier USPHS-Kriterien, bestimmt werden. Des Weiteren ist die in der Studienplanung vorgesehene vom Herstellungsprozess unabhängige Nachuntersuchung der Kronen vom Herstellungsprozess hervorzuheben. Zudem erfolgte die Fabrikation der Studienrestorationen sowohl an der zahnmedizinischen Fakultät des Universitätsklinikum Leipzig AöR als auch in einer Leipziger Zahnarztpraxis. Dies unterstützt die Allgemeingültigkeit der Studie und verdeutlicht die Realisierbarkeit der Präparation sowie der Herstellung der Kronen im *chairside*-Verfahren mittels CAD/CAM-Technik. Der longitudinale Charakter der Studie ist klar hervorzuheben. Während der unterschiedlichen Untersuchungswellen konnten die Ereignisse verglichen und die Ergebnisse zu mehreren Zeitpunkten erhoben werden.

Schwächen der Studie sind vor allem in der Befestigungstechnik zu sehen. So wurden die Restorationen ausschließlich adhäsiv zementiert. Dies kann als methodische Limitation betrachtet werden. Von Nachteil war auch die nur begrenzt zur Verfügung stehende Auswahl der Farblöcke. Weiterhin beschränkte der Verzicht von Verblendkeramiken die farbliche Gestaltung der Kronen.

4.3 Vergleich und Interpretation der Daten

Die Ergebnisse der gewonnenen Daten werden nachfolgend mit Untersuchungen anderer Studiendesigns, die mit anderen Fabrikationstechniken und Materialien arbeiten, verglichen, weil die Datenlage in der Fachliteratur sehr gering ist.

4.3.1 Überlebensanalyse

Die 10-Jahres-Überlebensrate der Lithiumdisilikatkronen dieser Studie liegt bei 83,5 %, und für die komplikationsfreie Rate ergibt sich ein Wert von 71,0 %. Vier der fünf Fehler sind biologischer Natur. Eine Molarenkrone mit Wurzellängsfraktur ist hier besonders hervorzuheben (Abbildung 14). Der Proband stellte bis zu den Nachkontrolluntersuchungen subjektiv keine Beschwerden fest, da die Krone die frakturierten Wurzelfragmente zusammenhielt. Die Krone, die aufgrund eines technischen Fehlers nach 2,9 Jahren auffiel, konnte mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops untersucht werden. Im Bereich der Fissur wurde deutlich, dass die aktuell empfohlene Mindestschichtstärke von 1,0 mm⁴² nicht erreicht wurde. Sie war um 0,13 mm geringer (Abbildung 15). Zusätzlich zur geringeren Schichtstärke wurde das Befestigungsmaterial sichtbar. Es ist anzunehmen, dass der Verbund zwischen der Keramik und dem Zement Multilink Sprint (Ivoclar, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) fester war als zur Zahnhartsubstanz. Die ungenügende Lagerstabilität des Produktes könnte der Grund dafür sein. Dieser Zement ist heute nicht mehr verfügbar. Zudem kommt eine Stumpfhöhe von nur 3 mm hinzu, die den adhäsiven Verbund erschwert.

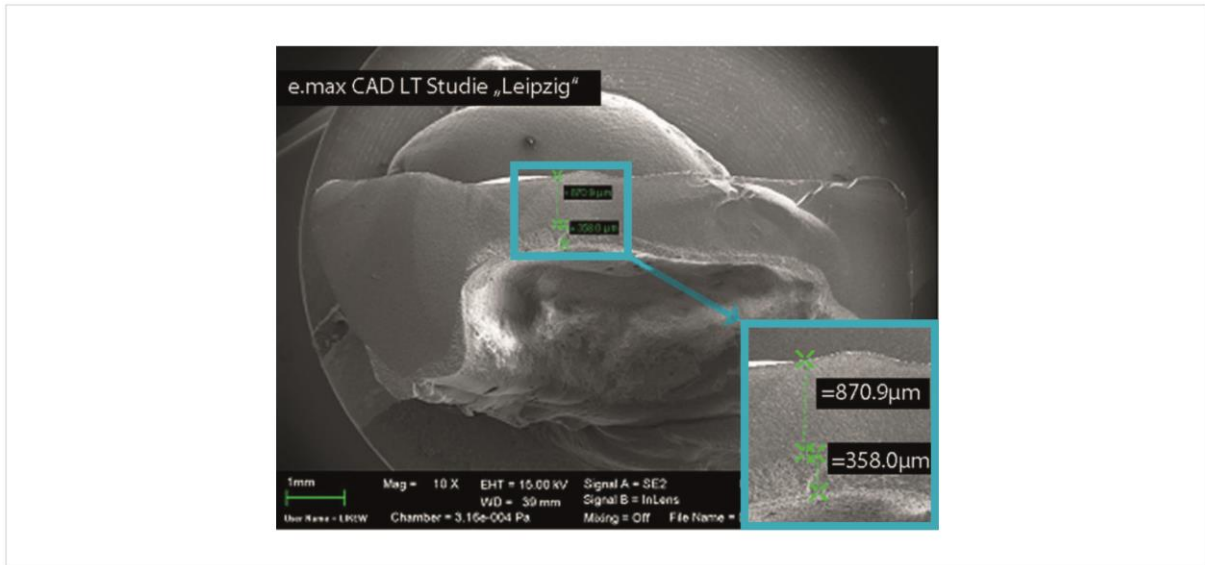


Abbildung 15 REM-Analyse der frakturierten Krone: die Schichtstärke im okklusalen Bereich liegt bei 0,87 mm.

Möglicherweise korreliert das Dezentieren einer weiteren Krone dieser Studie mit der Wahl des Befestigungsmaterials. Die Studienlage zeigt jedoch, dass hinsichtlich des Befestigungsmaterials keine Unterschiede des klinischen Überlebens des Restaurationsmaterials festzustellen sind^{32,38}. Die Überlebensrate von adhäsiv befestigten Restaurationen aus Lithiumdisilikatkeramik wird in einer aktuellen Studie mit 83,5 % bis 100 % angegeben, für konventionell befestigte Versorgungen mit 98,5 %⁴³.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass es sich bei diesen Studien um geringe Probandenzahlen handelt. Um die Studienlage zu vervollständigen, sollten hier noch weitere Untersuchungen ansetzen und entsprechend einer randomisierten kontrollierten Studie die Thematik aufgreifen und fortsetzen.

Bei der Betrachtung des *Chippings* sowohl bei verblendeten Metall-, verblendeten Keramik-, als auch bei Vollkeramikkrone, bieten die monolithischen Lithiumdisilikatkrone eine stabile und ästhetische Alternative, da diese auch nach 10 Jahren keinen Integritätsverlust der Kronenoberfläche nachwies⁴⁴.

Bei der Gegenüberstellung von monolithischen Vollkeramikkrone aus klassischen Silikatkeramiken und monolithischen Lithiumdisilikatkeramiken werden ähnliche Langzeitergebnisse erreicht³³. Auch der Vergleich zu verblendeten Glas- oder Oxidkeramiken zeigt entsprechende Überlebenswahrscheinlichkeiten³⁵⁻⁴⁰. In der Langzeitbeobachtung wurden deutlich schlechtere Resultate von verblendeten glasinfilierten Oxidkeramiken festgestellt³¹.

Diskussion

Verwiesen sei darauf, dass bei den vorangestellten Vergleichen die meisten dieser Publikationen die Untersuchung von Front- und Seitenzahnrestorationen zum Gegenstand haben und es wahrscheinlich ist, dass die Erfolgsraten allgemein etwas besser ausgefallen sind als bei einer ausschließlichen Betrachtung von Seitenzahnkronen²⁸⁻³⁰. Zudem wurde in dieser Studie aufgezeigt, dass Unterschiede zwischen dem Langzeiterfolg von Prämolaren- und Molarenkronen zu beobachten sind. Alle Komplikationen traten an Molaren auf. Grund dafür könnte die ansteigende Aufnahmetoleranz im posterioren Bereich sein. Eine aktuelle in-vitro-Studie zeigt, dass auch die derzeitig neuesten Intraoralscanner posterior erhöhte Abweichungen von den Referenzmodellen aufzeigen⁴⁵.

Eine etwas bessere Langzeitprognose hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeit hat offenbar die Wahl von verblendeten Metallkeramikkrone gegenüber monolithischen Lithiumdisilikatkeramiken zu sein^{9,10}.

Diskussion

Eine Auflistung der veröffentlichten Studien zu mittleren und längeren Überlebenszeiten von monolithischen Lithiumdisilikatkeramiken ist in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt.

AUTOR	ANZAHL DER RESTAURATIONEN	BZ	ÜR	KFR
Seydler ⁴⁶	30	2	100,0	100,0
Fasbinder ⁴⁷	62	2	100,0	100,0
Esquil-Upshaw ⁴⁸	12	3	100,0	1000
Etman ⁴⁹	30	3	n=29/30	n. b.
Reich ⁵⁰	29	4	96,3	71,4
Sulaiman ⁵¹	11603	4	99,1 *	n.b.
Kinnen ⁵²	102	5	99,0	90,2
Gehrt ³⁸	94	8	94,8	90,2
Valenti ³⁵	261	10	95,5	n. b.
Schmitz ⁵³	627	12	97,93	n=13/627

Abbildung 16 Klinische Studien zu Kronen aus monolithischer Lithiumdisilikatkeramik nach Beobachtungszeitraum (BZ) in Jahren; Überlebensrate (ÜR) und komplikationsfreie Rate (KFR) in %; nicht beurteilt (n. b.); Anzahl (n); * retrospektive Studie erfasste Neuanfertigungen im zahntechnischen Labor (Neuanfertigung=Fehler).

Diskussion

Die Langlebigkeit von vollanatomischen keramischen Restaurationen, geformt durch schleifende maschinelle Materialbearbeitung, wird durch eine immer schonendere und präzisere Bearbeitung und eine bessere Oberfläche gesteigert. Der derzeitige Einsatz von rotierenden Diamantwerkzeugen erzeugt ein raues Schleifergebnis, so dass von ihrer Güte eine weitere Glättung vor der Eingliederung im Mund notwendig ist.

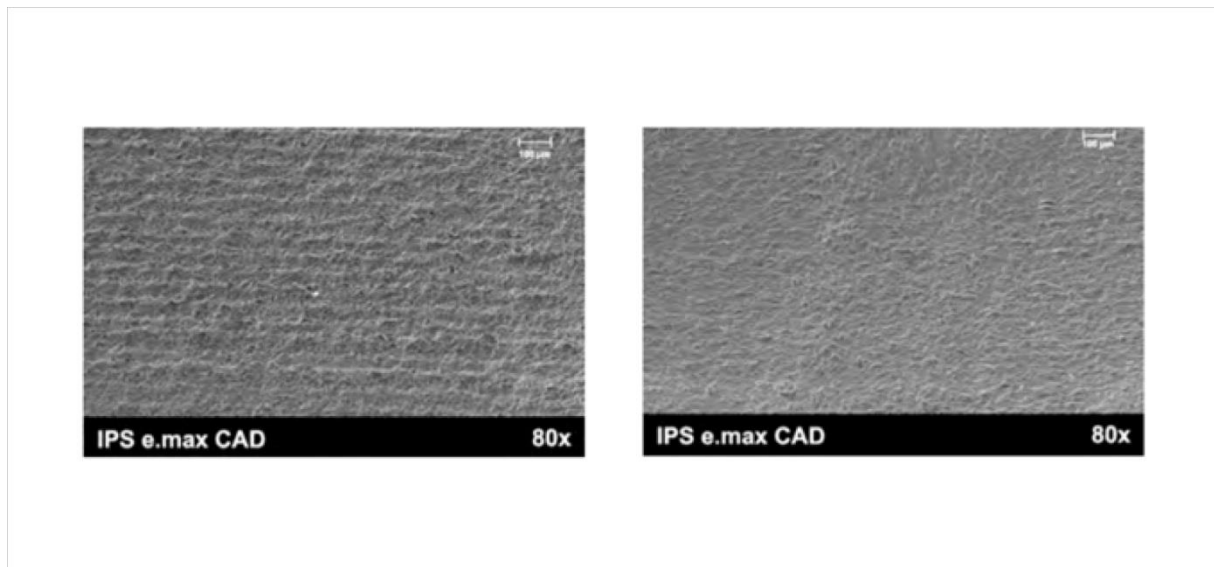


Abbildung 17 Oberflächenrauheit IPS e.max CAD ohne Nachbearbeitung (links) und mit Nachbearbeitung (rechts) mit dem OptraFine-System. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. (Ivoclar Vivadent AG).

Die Qualität der Keramikrestaurationen wird durch eine Glasur gesteigert. Deshalb sollten CAD/CAM-geschliffene Keramikrestaurationen idealerweise glasiert werden. Negative Werkstoffeigenschaften von Keramik zeigen sich in der Sprödigkeit und der schwachen Belastbarkeit auf Zugspannung. Eine homogene und glatte Oberfläche kann die Materialkennzeichen wie Festigkeit und Langlebigkeit steigern. Kleine Materialdefekte sind der Entstehungsbeginn typischer Keramikfrakturen. Durch eine einwirkende Zugspannung bildet sich dann ein initialer Riss, dessen Dehnung sich bei erneuter Krafteinwirkung intermittierend auswirkt, bis eine kritische Rissgröße erreicht ist. Beschleunigt wird dieser Vorgang im Mund durch Wassereinlagerung in dem Frakturspalt. Bei Lithiumdisilikat, das als Metasilikat geschliffen und danach auskristallisiert wird, ist daher eine Glasur obligat.

Zusätzlich zu den Langzeitwerten können Transluzenz und Opazität gesteigert werden. Lithiumdisilikat schnitt dabei in einer in-vitro-Studie besonders gut ab ⁵⁴.

Diskussion

Zudem führt die Oberflächenrauheit der Restaurationen dazu, dass die Antagonisten lithiumdisilikatkeramikversorgter Zähne Abrasionen zeigen. In Abbildung 17 wird deutlich, dass die Antagonistenabrasion unbehandelter (UB), gefräster Lithiumdisilikatkeramiken (IPS e.max CAD), wesentlich größer ist als die der behandelten Restaurationen (B).

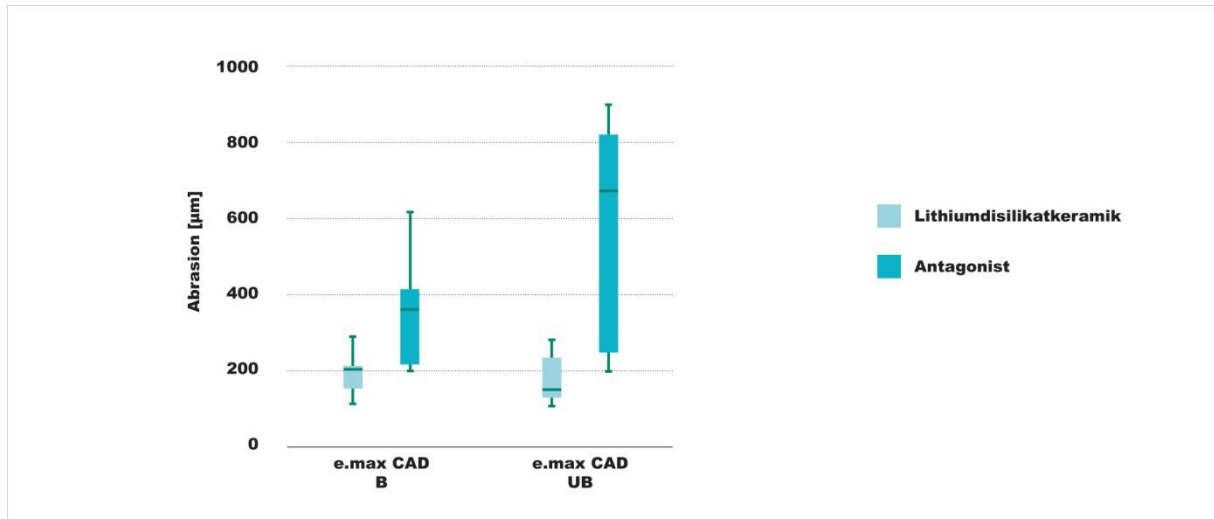


Abbildung 18 Einfluss der Rauigkeit der Keramikoberfläche auf die Antagonistenabrasion. Keramik- und Antagonistenverschleiß von unbehandelten (UB) und mit einem Feinkorndiamanten (0,025 mm) behandelten Kronen (B) aus IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent AG).

4.3.2 Modifizierte USPHS-Kriterien

In fast allen modifizierten USPHS-Kriterien wurden im Vergleich zwischen der Baseline- und den 10-Jahresuntersuchungen *Alpha*-Bewertungen vergeben. Minimale Abweichungen innerhalb der Bewertungen sind eventuell durch einen organisatorisch bedingten Wechsel der Untersucher zwischen den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten beeinflusst.

Ein Abfall des Parameters Oberfläche von *Alpha 1* zu *Alpha 2* ist zu verzeichnen ($p=0,012$). Es besteht möglicherweise eine Korrelation mit dem Verschleißverhalten von Lithiumdisilikatkeramiken. Dies wurde innerhalb eines kurzen Untersuchungszeitraumes mit einem Wert von $0,0048 \text{ mm}$ pro Monat beschrieben^{54,55}.

Zu jedem Zeitpunkt der Untersuchungen wurde die Farbe der Restaurationen mit einer *Alpha*-Bewertung beurteilt. Das spricht für beständiges Farbverhalten der Lithiumdisilikatkeramiken. Auch andere Keramiken schneiden in Bezug auf das Farbverhalten sehr gut ab^{33,34,36,44}.

Das häufige Auftreten von Verfärbungen der Klebefuge zeigte sich sowohl in dieser Studie als auch in bereits vorangegangenen Studien zum Verhalten von selbstadhäsivem Zement⁵⁷⁻⁵⁹. Ursachen sollten nicht nur im Material, wie die Auswaschung des selbstadhäsiven Zementes, gesucht werden, sondern sind auch abhängig von den Ernährungsgewohnheiten, der Mundhygiene und dem Rauchverhalten der Patienten⁵⁹. Wird dualhärtendes Komposit verwendet, lässt sich die Verfärbung der Klebefuge ebenso beobachten³³.

4.4 Ausblick

In zukünftigen Studien sollten weitere Daten der monolithischen Lithiumdisilikatkronen in längeren Untersuchungszeiträumen erhoben werden. Im Rahmen dieser Studie kann das Restaurationsmaterial für die klinische Anwendung und Langzeitprognose empfohlen werden. Wünschenswert ist zudem eine internationale Einigung auf ein System zur Bewertung von zahnmedizinischen Materialien. Für eine differenzierte Aussage über das Material und dessen Eigenschaften ist die Untersuchung einer größeren Kohorte oder eine randomisiert kontrollierte Studie zukünftig erstrebenswert. Es ist darüber nachzudenken, dieselben

Diskussion

Bedingungen des Studienrahmens zu wählen und diese lediglich um die aktuelle CAD/CAM-Software und das aktuelle Scan System der Primescan AC zu ergänzen, um Aussagen über das Scanverfahren und deren Prognosen anzustoßen. Außerdem könnte eine ausschließlich an Molaren oder an Prämolaren randomisierte kontrollierte Studie durchgeführt werden.

4.5 Schlussfolgerung

Im Rahmen dieser klinischen, prospektiven Studie konnte eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 83,5 % nach 10 Jahren für *chairside*-hergestellte monolithische Lithiumdisilikatkronen ermittelt werden. Verglichen mit anderen vollkeramischen Restaurationen entsprechen die Ergebnisse dieser Studie der aktuellen Studienlage. Hinsichtlich der ästhetischen Anwendung von monolithischen Lithiumdisilikatkronen kann diese auch über einen längeren Beobachtungszeitraum im Seitenzahngebiet empfohlen werden. Bei diesem Material lässt sich kein Chipping feststellen. Die CAD/CAM-Herstellungstechnik kann für einen klinischen Versorgungszeitraum von 10 Jahren empfohlen werden und ermöglicht die Fertigung von ästhetischen, stabilen Kronen im Seitenzahngebiet.

5 Zusammenfassung

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med. dent.

Titel: Überlebensanalyse und klinische Nachuntersuchung einer maschinenbearbeitbaren Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max CAD LT) von Einzelzahnrestorationen im Seitenzahnggebiet im *chairside*-Verfahren: 10-Jahres-Ergebnisse

eingereicht von: Luise Dalchau

angefertigt an: Universität Leipzig, Medizinische Fakultät
Universitätszahnmedizin Leipzig
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik und
Werkstoffkunde Leipzig

betreut von: Prof. Dr. med. dent. Holger A. Jakstat
Dr. med. dent. Angelika Rauch, M.Sc.

eingereicht im: November 2019

Lithiumdisilikatkeramik ist ein monolithisches, keramisches Material, welches hohe mechanische Stabilität mit transluzenten Elementen vereint und so der natürlichen Zahnhartsubstanz entspricht. Die Möglichkeit, Restorationen aus diesem Material im *chairside*-Verfahren mit Hilfe von CAD/CAM-Technik herzustellen, gewährt der modernen Zahnmedizin ökonomische Vorteile, wie beispielsweise die Präparationsanalyse in Echtzeit, selektive Wiederholbarkeit des Abdruckes, digitales Archivieren, Versorgung in einer Sitzung, die damit verbundene sofortige bakteriendichte Versiegelung der Dentinwunde und adhäsive Stabilisierung der Restzahnsubstanz. Außerdem ermöglicht es der modernen Zahnmedizin eine virtuelle Verlaufskontrolle und eine Datenfusion ¹⁵.

Diese prospektive Studie hatte die Bewertung von im *chairside*-Verfahren hergestellten Lithiumdisilikatkeramikkkronen nach 10 Jahren im Seitenzahnggebiet

Zusammenfassung

sowohl hinsichtlich ihrer Überlebenswahrscheinlichkeit als auch ihrer Qualität zum Ziel. Es bestehen bereits Studien zu kurzzeitigen Untersuchungen dieser monolithischen Restauration sowie Arbeiten, die Langzeitergebnisse über laborgefertigte Kronen desselben Materials erheben. Für die monolithische Anwendung *chairside*-hergestellter Lithiumdisilikatkeramikronen waren jedoch keine Langzeitstudien verfügbar. Zudem ist eine Evaluation über die langfristige, klinische Qualität dieser Kronen bisher nicht erfolgt.

Einundvierzig Kronen aus Lithiumdisilikatkeramik wurden bei 34 Patienten (20 zahnmedizinische Fakultät/ 14 Zahnarztpraxis) im *chairside*-Verfahren hergestellt. Die Präparation erfolgte mittels abgerundeter Stufe oder einer ausgeprägten Hohlkehle. Außerdem wurde ein minimaler Substanzabtrag von 2 mm im Höckerbereich sowie 1,5 mm in der Fissur festgelegt. Die Restaurationen wurden optisch mit einer CEREC-3-Einheit abgeformt. Mit Hilfe der CEREC-Software 2.9 wurden die virtuellen Modelle zusammengefügt und die Kronen designt. Nach dem Sintern im Ofen erfolgte die Befestigung der Kronen mit einem selbstadhäsiven Zement.

Die klinische Qualität der Kronen wurde nach den modifizierten Kriterien des US Public Health Service bewertet. Die Nachkontrollen fanden zur Baseline-Untersuchung sowie nach 12, 24, 36, 48, 60, 72 und 120 Monaten statt und beinhalteten die Erhebung der modifizierten USPHS-Kriterien.

Die Kaplan-Meier-Analyse dieser Studie basiert auf der Überlebenswahrscheinlichkeit und der komplikationsfreien Rate. Zum Ausschluss einer Restauration führten Misserfolge. Diese wurden, wie auch die Komplikationen, in technische und biologische Ursachen unterteilt. Analog wurden Misserfolge auch als Komplikation gewertet. Bei den Nachuntersuchungen empfiehlt sich, immer nur eine Restauration pro Proband zu kontrollieren⁴¹. Daher wurde in dieser Studie für die sieben Probanden, welche zwei Kronen erhielten, eine randomisierte Zuordnung mittels Randomisierungsliste durchgeführt, sodass jeweils nur eine Krone in der Nachuntersuchung betrachtet wurde.

Die Pfeilerzahntopographie beschränkte sich auf den Seitenzahnbereich (10 Prämolaren-, 32 Molarenkronen). Die Probanden waren zu Studienbeginn im Durchschnitt 46,6 Jahre ($\pm 13,1$; min. 26, max. 72; davon 62% weiblich).

Zusammenfassung

Die statistische Auswertung (IBM SPSS Statistics 22, IBM Ehningen, Deutschland) der Daten erfolgte mittels Kaplan-Meier-Analyse, Log-Rank-Test und Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei einem Signifikanzniveau von $p=0,05$.

Nach durchschnittlich 10,1 Jahren wurden 26 Kronen untersucht und bewertet. Innerhalb dieses Untersuchungszeitraums traten fünf Fehler auf. Die Fraktur einer Krone nach 2,9 Jahren ist als technischer Fehler einzustufen, die Fraktur eines Zahnstumpfes nach 6,0 Jahren, die akute Exazerbation einer Parodontitis apicalis chronica nach 6,1 Jahren sowie eine Wurzellängsfraktur nach 7,0 Jahren und eine erneuerungsbedürftige Krone, aufgrund einer kariösen Läsion am Kronenrand nach 10,0 Jahren wurden als biologische Fehler gewertet. Als Komplikationen galten zwei kariöse Läsionen am Kronenrand sowie die Dezementierung einer Krone nach zwei Jahren. Innerhalb der ersten 13 Monate ließ sich eine Sensibilitätsveränderung feststellen. Alle oben genannten Ereignisse traten an Molaren auf.

Die Kaplan-Meier-Analyse für alle Kronen ergab eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 83,5 % und eine komplikationsfreie Wahrscheinlichkeit von 71,0 % nach 10 Jahren.

Bei der Analyse nach modifizierten USPHS-Kriterien nach 10 Jahren konnte eine fast ausschließliche *Alpha*-Bewertung festgestellt werden.

Die Studie belegt das Auftreten einer geringen Anzahl von Fehlern und Komplikationen. Deshalb können Lithiumdisilkatkeramiken, die im *chairside*-Verfahren hergestellt wurden, für die Langzeitanwendung empfohlen werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Wilhelm II.: zitiert nach Vogel, B: Sorge tragen für die Zukunft: Reden 1998-2002, (2002) S. 97.
2. Thomas Watson: zitiert nach Popp, R.; Schüll, E.: Zunkunftsforchung und Zukunftsgestaltung, Berlin, Heidelberg (2009) S. 73.
3. Mörmann, W. H., Internet: <https://www.zm-online.de/archiv/2015/19/zahnmedizin/meine-motivation-war-die-schnelle-restauration/seite/3/>, Stand: 26.01.2019.
4. Yuzbasioglu, E.; Kurt, H.; Turunc, R.; Bilir, H. (2014): Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. In: *BMC oral health* 14, S. 10.
5. Initiative proDente e.V., Weiße Zähne als Statussymbol (27.11.2013). Internet:http://www.prodente.de/fileadmin/images/pressegrafiken/pressegrafik_0902_01.jpg; Stand: 21.08.2015.
6. Ting-Shu, S.; Jian, S. (2015): Intraoral Digital Impression Technique: A Review. In: *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists* 24 (4), S. 313–321.
7. Marquardt, P.; Strub, J. R. (2006): Survival rates of IPS empress 2 all-ceramic crowns and fixed partial dentures: results of a 5-year prospective clinical study. In: *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 37 (4), S. 253–259.
8. Sailer, I.; Makarov, N. A.; Thoma, D. S.; Zwahlen, M.; Pjetursson, B. E. (2016): Corrigendum to "All-ceramic or metal-ceramic tooth- supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs)" *Dental Materials* 31 (6) (2015) 603-623. In: *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 32 (12), e389-e390.
9. Behr, M.; Zeman, F.; Baitinger, T.; Galler, J.; Koller, M.; Handel, G.; Rosentritt, M. (2014): The clinical performance of porcelain-fused-to-metal precious alloy single crowns: chipping, recurrent caries, periodontitis, and loss of retention. In: *The International journal of prosthodontics* 27 (2), S. 153–160.
10. Walton, T. R. (2013): The up to 25-year survival and clinical performance of 2,340 high gold-based metal-ceramic single crowns. In: *The International journal of prosthodontics* 26 (2), S. 151–160.
11. Birnbaum, N. S.; Aaronson, H. B. (2008): Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. In: *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)* 29 (8), S. 494, 496, 498-505.
12. Sirona Dental System GmbH, Deutschland. Internet: [file:///C:/Users/User/Downloads/CEREC_AC%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/CEREC_AC%20(3).pdf); Stand: 25.01.2019.

Literaturverzeichnis

13. Logozzo, S.; Franceschini, G.; Kilpelä, A.; Caponi, M.; Governi, L.; Blois, L. (2008): A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. *The Internet Journal of Medical Technology*. Volume 5 (1).
14. Zimmermann, M.; Mehl, A.; Mörmann, W. H.; Reich, S. (2015): Intraoral scanning systems - a current overview. In: *International journal of computerized dentistry* 18 (2), S. 101–129.
15. Ender, A.; Mehl, A. (2013): Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. In: *International journal of computerized dentistry* 16 (1), S. 11–21.
16. Kern, M. (2015): Vollkeramik auf einen Blick. Leitfaden zur Indikation, Werkstoffauswahl, Vorbereitung und Eingliederung von vollkeramischen Restaurationen. 6. Aufl. Ettligen:
17. Guess, P. C.; Schultheis, S.; Bonfante, E. A.; Coelho, P. G.; Ferencz, J. L.; Silva, N. R. F. A. (2011): All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. In: *Dental clinics of North America* 55 (2), S. 333-352, ix.
18. Wiedhahn, K. (2007): From blue to white: new high-strength material for Cerec-IPS e.max CAD LT. In: *International journal of computerized dentistry* 10 (1), S. 79–91.
19. Wirthwein C. (2006): Vergleichende Bewertung der kritischen Festigkeitseigenschaften dentaler Feldspatkeramiken der Firma DCS [Dissertation]. Berlin: Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin
20. Ivoclar, Vivadent, Internet: https://www.dtshop.com/fileadmin/media/ga/0329_ga_deu.pdf; Stand: 04.02.2019.
21. Kappert HF. (2001) Keramiken-eine Übersicht. Die Quintessenz der Zahntechnik; 27: 668.
22. Vita Zahnfabrik Deutschland. Internet: file:///C:/Users/User/Downloads/VITA_1951_1951D_SUPRINITY_PC_VA_DE_V04_screen_de.pdf; Stand: 25.01.2019.
23. 3M GmbH, Deutschland. Internet: <https://multimedia.3m.com/mws/media/9167710/3m-lava-plus-high-translucency-zirconia-technical-product-profile.pdf>; Stand: 25.01.2019.
24. Harada, K.; Raigrodski, A. J.; Chung, K-H.; Flinn, B. D.; Dogan, S.; Mancl, L. A. (2016): A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations. In: *The Journal of prosthetic dentistry* 116 (2), S. 257–263.
25. Makhija, S K.; Lawson, N. C.; Gilbert, G. H.; Litaker, M. S.; McClelland, J. A.; Louis, D. R. et al. (2016): Dentist material selection for single-unit crowns: Findings from the National Dental Practice-Based Research Network. In: *Journal of dentistry* 55, S. 40–47.
26. Ivoclar Vivadent AG. Ivoclar Vivadent Deutschland. Internet: https://www.ivoclarvivadent.de/mam/celum/celum_assets/9196228476958_ips-emax-cadIPS_emax_CAD_Monolithic_Solution_Chairside_ifu_de_de.pdf?2; Stand: 25.01.2019.

27. Wang, Y.; Li, C.; Yuan, H.; Wong, M. C.; Zou, J.; Shi, Z.; Zhou, X. (2016): Rubber dam isolation for restorative treatment in dental patients. In: *The Cochrane database of systematic reviews* 9, CD009858.
28. Heintze, S. D.; Rousson, V. (2010): Fracture rates of IPS Empress all-ceramic crowns-a systematic review. In: *The International journal of prosthodontics* 23 (2), S. 129–133.
29. Kassardjian, V.; Varma, S.; Andiappan, M.; Creugers, N. H. J.; Bartlett, D. (2016): A systematic review and meta analysis of the longevity of anterior and posterior all-ceramic crowns. In: *Journal of dentistry* 55, S. 1–6.
30. Pjetursson, B. E.; Sailer, I.; Zwahlen, M.; Hämmerle, C. H. F. (2007): A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns. In: *Clinical oral implants research* 18 Suppl 3, S. 73–85.
31. Rinke, S.; Tsigaras, A.; Huels, A.; Roediger, M. (2011): An 18-year retrospective evaluation of glass-infiltrated alumina crowns. In: *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 42 (8), S. 625–633.
32. Kern, M.; Sasse, M.; Wolfart, S. (2012): Ten-year outcome of three-unit fixed dental prostheses made from monolithic lithium disilicate ceramic. In: *Journal of the American Dental Association (1939)* 143 (3), S. 234–240.
33. Otto, T.; Mörmann, W. H. (2015): Clinical performance of chairside CAD/CAM feldspathic ceramic posterior shoulder crowns and endocrowns up to 12 years. In: *International journal of computerized dentistry* 18 (2), S. 147–161.
34. Fradeani, M.; Redemagni, M. (2002): An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: a retrospective study. In: *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 33 (7), S. 503–510.
35. Valenti, M.; Valenti, A. (2009): Retrospective survival analysis of 261 lithium disilicate crowns in a private general practice. In: *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 40 (7), S. 573–579.
36. Toman, M.; Toksavul, S. (2015): Clinical evaluation of 121 lithium disilicate all-ceramic crowns up to 9 years. In: *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 46 (3), S. 189–197.
37. Teichmann, M.; Göckler, F.; Weber, V.; Yildirim, M.; Wolfart, S.; Edelhoff, D. (2017): Ten-year survival and complication rates of lithium-disilicate (Empress 2) tooth-supported crowns, implant-supported crowns, and fixed dental prostheses. In: *Journal of dentistry* 56, S. 65–77.
38. Gehrt, M.; Wolfart, S.; Rafai, N.; Reich, S.; Edelhoff, D. (2013): Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. In: *Clinical oral investigations* 17 (1), S. 275–284.
39. Simeone, P.; Gracis, S. (2015): Eleven-Year Retrospective Survival Study of 275 Veneered Lithium Disilicate Single Crowns. In: *The International journal of periodontics & restorative dentistry* 35 (5), S. 685–694.
40. Galindo, M. L.; Sendi, P.; Marinello, C. P. (2011): Estimating long-term survival of densely sintered alumina crowns: a cohort study over 10 years. In: *The Journal of prosthetic dentistry* 106 (1), S. 23–28.

41. Hickel, R.; Roulet, J-F; Bayne, S.; Heintze, S. D.; Mjör, I. A.; Peters, M. et al. (2007): Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. In: *Clinical oral investigations* 11 (1), S. 5–33.
42. IPS e.max; Scientific Report ; Vol. 02 / 2001 – 2013.
43. Maroulakos G.; Thompson G.A.; Kontogiorgos E.D.J. (2019): Effect of cement type on the clinical performance and complications of zirconia and lithium disilicate tooth-supported crowns: A systematic review. Report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the American Academy of Fixed Prosthodontics. In: *Journal of prosthetic dentistry*, 121(5), S. 754-765.
44. Teichmann, M.; Wienert, A. L.; Rückbeil, M.; Weber, V.; Wolfart, S.; Edelhoff, D. (2018): Ten-year survival and chipping rates and clinical quality grading of zirconia-based fixed dental prostheses. In: *Clinical oral investigations*.
45. Ender, A.; Zimmermann, M.; Mehl, A. (2019): Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. In: *International journal of computerized dentistry* 22 (1), S. 11–19.
46. Seydler, B.; Schmitter, M. (2015): Clinical performance of two different CAD/CAM-fabricated ceramic crowns: 2-Year results. In: *The Journal of prosthetic dentistry* 114 (2), S. 212–216.
47. Fasbinder, D. J.; Dennison, J. B.; Heys, D.; Neiva, G. (2010): A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns: a two-year report. In: *Journal of the American Dental Association (1939)* 141 Suppl 2, 10S-4S.
48. Esquivel-Upshaw, J. F.; Clark, A. E.; Shuster, J. J.; Anusavice, K. J. (2014): Randomized clinical trial of implant-supported ceramic-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses: preliminary results. In: *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists* 23 (2), S. 73–82.
49. Etman, M. K.; Woolford, M. J. (2010): Three-year clinical evaluation of two ceramic crown systems: a preliminary study. In: *The Journal of prosthetic dentistry* 103 (2), S. 80–90.
50. Reich, S.; Schierz, O. (2013): Chair-side generated posterior lithium disilicate crowns after 4 years. In: *Clinical oral investigations* 17 (7), S. 1765–1772.
51. Sulaiman, T. A.; Delgado, A. J.; Donovan, T. E. (2015): Survival rate of lithium disilicate restorations at 4 years: A retrospective study. In: *The Journal of prosthetic dentistry* 114 (3), S. 364–366.
52. Kinnen, B.; Spiekermann H.; Edelhoff D. (2013): Five year clinical evaluation of crowns and bridges made of IPS Empress 2. *J Dent Res* 85 (Spec Iss B), Abstract No 78813.
53. Schmitz J. H.; Cortellini D.; Granata S.; Valenti M. (2017): Monolithic lithium disilicate complete single crowns with featheredge preparation design in the posterior region. A multicentric retrospective study up to 12 years. In: *Quintessence Int.* Jul 20: S. 601–608
54. Meral, K.; Bilge, T. B. (2019): Effects of accelerated artificial aging on the translucency and color stability of monolithic ceramics with different surface treatments. In: *The Journal of prosthetic dentistry* 121 (4), 712.e1–712.e8.

Literaturverzeichnis

55. Kern M. (2016): Forschungspreisträger untersuchten Antagonistenverschleiß. Klinischer Substanzverlust durch Zirkonoxid-Kronen sowie Kauflächen aus Lithiumdisilikat und CAD/CAM-Komposit; Internet: www.ag-keramik.de/fileadmin/daten/pdf/Forschungspreisberichte/Forschungspreis_2016_Artikeltext_2__02.11.2016__.pdf.
56. Mörmann, W. H.; Stawarczyk, B.; Ender, A.; Sener, B.; Attin, T.; Mehl, A. (2013): Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. In: *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 20, S. 113–125.
57. Belli, R.; Pelka, M.; Petschelt, A.; Lohbauer, U. (2009): In vitro wear gap formation of self-adhesive resin cements: a CLSM evaluation. In: *Journal of dentistry* 37 (12), S. 984–993.
58. Peumans, M.; Voet, M.; Munck, J. de; van Landuyt, K.; van Ende, A.; van Meerbeek, B. (2013): Four-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. In: *Clinical oral investigations* 17 (3), S. 739–750.
59. Federlin, M.; Hiller, K-A.; Schmalz, G. (2014): Effect of selective enamel etching on clinical performance of CAD/CAM partial ceramic crowns luted with a self-adhesive resin cement. In: *Clinical oral investigations* 18 (8), S. 1975–1984.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 CEREC AC-Aufnahmeeinheit	4
Abbildung 2 Aufbau der CEREC BlueCam	5
Abbildung 3 Funktionselemente der Fräseinheit.....	7
Abbildung 4 Schleifraum.....	8
Abbildung 5 Schleifinstrumente	8
Abbildung 6 Übersicht der Dentalkeramiken; Schleifen (S); Pressen (P) ^{nach 16}	9
Abbildung 7 physikalische Kennwerte verschiedener Dentalkeramiken in Relation zur Zahnhartsubstanz ¹⁷⁻²³	11
Abbildung 8 IPS e.max Press Indikation und Verarbeitungstechniken	12
Abbildung 9 Rasterelektronenmikroskopaufnahme (FE-REM) von IPS e.max CAD Keramik; links Lithiummetasilikat; rechts Lithiumdisilikat.....	13
Abbildung 10 e.max CAD LT Block	14
Abbildung 11 Präparationsrichtlinien	20
Abbildung 12 Übersicht über die Anzahl der Recall-Teilnehmer und die Gründe für eine fehlende Nachuntersuchung	25
Abbildung 13 Pfeilerzahn 36 (SN 2, Zahn 36, t ₁₂₀) nach 10 Jahren.....	26
Abbildung 14 Pfeilerzahn 46 (SN 32, Zahn 46, t ₈₄) mit Wurzellängsfraktur nach 7 Jahren	27
Abbildung 15 REM-Analyse der frakturierten Krone: die Schichtstärke im okklusalen Bereich liegt bei 0,87 mm.....	37
Abbildung 16 Klinische Studien zu Kronen aus monolithischer Lithiumdisilikatkeramik nach Beobachtungszeitraum (BZ) in Jahren; Überlebensrate (ÜR) und komplikationsfreie Rate (KFR) in %; nicht beurteilt (n. b.); Anzahl (n); * retrospektive Studie erfasste Neuanfertigungen im zahntechnischen Labor (Neuanfertigung=Fehler).	39
Abbildung 17 Oberflächenrauheit IPS e.max CAD ohne Nachbearbeitung (links) und mit Nachbearbeitung (rechts) mit dem OptraFine-System. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. (Ivoclar Vivadent AG).	40
Abbildung 18 Einfluss der Rauigkeit der Keramikoberfläche auf die Antagonistenabrasion. Keramik- und Antagonistenverschleiß von unbehandelten (UB) und mit einem Feinkorndiamanten (0,025 mm) vorbehandelten Kronen (B) aus IPS e.max CAD und IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent AG).	41

8 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 Verteilung der Pfeilerzähne im Seitenzahnggebiet.....	20
Diagramm 2 Kaplan-Meier-Kurve für die Überlebenswahrscheinlichkeit und die komplikationsfreie Wahrscheinlichkeit nach einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren	28
Diagramm 3 Bewertung der Keramikoberfläche zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt	29
Diagramm 4 Bewertung der Keramikfarbe zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt	30
Diagramm 5 Bewertung der Klebefuge zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt	31
Diagramm 6 Bewertung der Zahnintegrität zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt	31
Diagramm 7 Bewertung der Integrität der Restauration zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt	32
Diagramm 8 Bewertung der Beschwerden zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt	33
Diagramm 9 Bewertung der Compliance zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt ..	34

9 Anhangsverzeichnis

Anhang 1 Klinischer Untersuchungsbogen der qualitativen Merkmale nach modifizierten USPHS-Kriterien 1-4	55
Anhang 2 Klinischer Untersuchungsbogen der qualitativen Merkmale nach modifizierten USPHS-Kriterien 5-8	56
Anhang 3 Klinischer Untersuchungsbogen der qualitativen Merkmale nach modifizierten USPHS-Kriterien 9-11	57
Anhang 4 Darstellung der Misserfolge (M) und Komplikationen (K) während des Untersuchungszeitraums.....	58
Anhang 5 Ergebnisse der qualitativen, klinischen Nachuntersuchung monolithischer e.max CAD LT Kronen nach modifizierten USPHS-Kriterien.....	59

Anhang 2 Klinischer Untersuchungsbogen der qualitativen Merkmale nach modifizierten USPHS-Kriterien 5-8.

Kategorie/Kriterien	5 Integrität Zahn	6 Integrität Krone	7 Approximalkontakt*	8 Sensibilität
1 excellent/ klinisch sehr gut	5.1 trifft zu	6.1 trifft zu	7.1 trifft zu	8.1 trifft zu
2 good/ klinisch gut	5.2.1 Hartschubstanzabsplitterung (rekontourierbar, max. 100 µm) 5.2.2 Hartschubstanzriss (nicht sondierbar, max. 100 µm)	6.2.1 Absplitterung (rekontourierbar, max. 100 µm) 6.2.2 Rissbild (nicht sondierbar max. 100 µm)	7.2.1 zu schwach (Matritzenband – ca. 50 µm) 7.2.2 zu stark (Matritzenband)	8.2 erfolgreich endodontisch behandelte Zähne mit Beschwerdefreiheit und Perkussionsprobe negativ
3 sufficient/ klinisch ausreichend	5.3.1 Hartschubstanzabsplitterung (> 100 µm, nicht polierbar, da sonst Formverlust) 5.3.2 Hartschubstanzriss (sondierbar, > 100 µm)	6.3.1 Absplitterung (nicht rekontourierbar) 6.3.2 Rissbildung (sondierbar > 100 µm) 6.3.3 Abrasion (> 100 µm)	7.3 viel zu schwach (keine Beschwerden und Traumatisierung der Papille > 100 µm)	8.3.1 verfrüht/verstärkt (keine subjektiven Beschwerden, keine Behandlung nötig) 8.3.2 verzögert/schwach (keine subjektiven Beschwerden, keine Behandlung nötig)
4 insufficient/ klinisch mangelhaft	5.4.1 Absplitterung, Riss > 100 µm	6.4.1 Absplitterung > 200 µm 6.4.2 starke Abrasion > 200 µm	7.4 Traumatisierung der Papille	8.4.1 verfrüht/verstärkt (Behandlung nötig) 8.3.2 verzögert/schwach (Behandlung nötig)
5 poor/ klinisch schlecht	5.5 Zahnfraktur	6.5 Fraktur mit Lockerung/Verlust	entfällt	8.5 negativ bei positiven Ausgangsbefund

* Beim Vorliegen eines schwachen und eines starken Approximalkontakts wird der schwache Approximalkontakt gewertet.

Anhang 3 Klinischer Untersuchungsbogen der qualitativen Merkmale nach modifizierten USPHS-Kriterien 9-11.

Kategorie/Kriterien	9 Beschwerden	10 Patientenzufriedenheit	11 Okklusale Beziehungen
1 excellent/ klinisch sehr gut	9.1 trifft zu	10.1 sehr zufrieden	11. 1 Stabile Okklusalkontakte, mind. 3 Kontakte bei Molaren, 2 bei Prämolaren bei Regelverzahnung sehr gute Artikulationsbeziehungen; dynamische Okklusion am gesamten Artikulationsmuster orientierend. Keine Primärkontakte bei der dynamischen Okklusion
2 good/ klinisch gut	9.2 Beschwerden nur zeitweise nach der Eingliederung – Wochen, keine Behandlung		11.2 Stabile Okklusalkontakte allerdings ohne die Mindestzahl an Kontaktpunkten, dynamische Okklusion am gesamten Artikulationsmuster orientierend. Keine Primärkontakte bei der dynamischen Okklusion
3 sufficient/ klinisch ausreichend	9.3 Beschwerden mittelfristig – Monate, keine Verbesserung, jedoch auch keine Behandlung nötig oder gewünscht	10.3 Pat. Äußert Kritik wg. Ästhetik, Kaukomfort, Zeitaufwand oder ähnlichem	11.3 Instabile okklusale Kontakte: schwache zentrische Kontakte oder exzentrische Belastung des Antagonisten
4 insufficient/ klinisch mangelhaft	9.4 Beschwerden permanent – noch erträglich, Behandlung geplant		11.4 Restauration weist unakzeptable funktionelle Anatomie auf
5 poor/ klinisch schlecht	9.5 Beschwerden unerträglich. WK-Behandlung sofort nötig	10.5 Pat. völlig unzufrieden, würde sich gleiche Versorgung nicht mehr durchführen lassen	entfällt

Anhang

Anhang 4 Darstellung der Misserfolg (M) und Komplikationen (K) während des Untersuchungszeitraums, Vergleich der Komplikationen nach zwei Kriterien; ^a eine Krone wurde nach 2 Jahren als Komplikation erfasst (kariöse Läsion unterhalb des Kronenrandes) und musste trotz Therapie nach 10 Jahren erneuert werden (Misserfolg).

Ereignis	Anzahl von Ereignissen	Art	Sensibilität zur Eingliederung		Setting	
			Positive Sensibilität (n=17)	Erfolgreich wurzelkanalbehandelt (n=17)	Universität (n=20)	Praxis (n=14)
Kronenfraktur	1	M	1	0	0	1
Apikale Entzündung	1	M	0	1	1	0
Fraktur des Zahnstumpfes	1	M	0	1	1	0
Wurzellängsfraktur	1	M	0	1	1	0
Kariöse Läsion unterhalb des Kronenrandes ^a	1	K+M	0	1	1	0
Kariöse Läsion unterhalb des Kronenrandes	1	K	1	0	1	0
Retentionsverlust	1	K	0	1	1	0
Sensibilitätsveränderung	2	K	2	0	1	1
Gesamt	9		4	5	7	2
Komplikationsfreie Rate			75,0 %	66,7 %	61,1 %	84,6 %
Log-Rank-Test			p = 0,729		p = 0,192	

Anhang

Anhang 5 Ergebnisse der qualitativen, klinischen Nachuntersuchung monolithischer e.max CAD LT Kronen nach modifizierten USPHS-Kriterien; ^b *Delta*-Rating für Kronen mit kariöser Läsion unterhalb des Kronenrandes.

Bewertungs-kriterium	Baseline (n=33) in %				12 Monate (n=32) in %		24 Monate (n=32) in %				36 Monate (n=29) in %			48 Monate (n=29) in %				60 Monate (n=30) in %					72 Monate (n=25) in %			120 Monate (n=26) in %		
	A1	A2	B	C	A1	A2	A1	A2	B	D	A1	A2	D	A1	A2	B	D	A1	A2	B	C	D	A1	A2	B	A1	A2	B
Oberfläche	78,8	24,2			75,0	25,0	68,8	31,2			55,2	44,8		51,7	48,3			53,3	46,7				44,0	56,0		46,2	53,8	
Farbe	51,5	48,5			53,1	46,9	68,8	31,2			55,2	44,8		51,7	48,3			56,7	43,3				28,0	72,0		53,8	46,2	
Klebefuge	60,6	36,4	3,0		78,1	21,9	78,2	15,6	3,1	3,1 ^b	89,7	5,6	3,4 ^b	41,4	48,3	3,4	6,9 ^b	56,7	36,7	3,3		3,3 ^b	48,0	48,0	4,0	23,1	69,2	7,7
Zahnintegrität	100,0				100,0		100,0				100,0			100,0				100,0					100,0			100,0		
Kronenintegrität	100,0				100,0		100,0				100,0			96,6	3,4			86,7	13,3				96,0	4,0		100,0		
Beschwerden	69,7	21,2	6,1	3,0	100,0		100,0				96,6	3,4		100,0				93,4		3,3	3,3		96,0		4,0	96,2		3,8

Eigenständigkeitserklärung

Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

.....
Datum

.....
Unterschrift

Publikationen

Rauch A, Reich S, Dalchau L, Schierz O (2018): Clinical survival of chair-side generated monolithic lithium disilicate crowns: 10-year results. *Clin Oral Investig*; 22: S. 1763–1769

Rauch A, Reich S, Dalchau L, Schierz O (2019): Klinische Qualität und Langzeitüberleben von monolithischen Lithiumdisilikatkeramikronen aus Zahnarztpraxis und Universitätsmedizin. *Dtsch Zahnärztl Z*; 74: 325–331

Danksagung

Zunächst danke ich Herrn Professor Dr. med. dent. Holger Jakstat, Stellvertretender Direktor der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Universität Leipzig AöR, für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. med. dent. Angelika Rauch, M. Sc., Zahnärztin der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Universität Leipzig AöR. Sie stand mir bei der Erarbeitung der Promotionsschrift verlässlich zur Seite, konnte mit hervorragendem Rat alle Fragen beantworten, und ihre Hinweise zur Korrektur waren sehr hilfreich für die Fertigstellung der Arbeit.

Ich möchte mich bei Herrn Professor Dr. med. dent. Sven Reich, Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Implantologie und Biomaterialien, Medizinische Fakultät, Universitätsklinikum der RWTH Aachen, sowie Herrn Dr. med. dent. Oliver Schierz, PD und Oberarzt der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Universität Leipzig AöR, sowie der Zahnarztpraxis Dr. med. dent. Christian Fischer und Sören Fischer bedanken.

Ich danke Frau Dr. med. dent. Angelika Rauch, M. Sc., und Herrn Sebastian Mehlhorn, Zahnärztin und Zahnarzt der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der Universität Leipzig AöR, für die Erhebung der Daten.

Meiner Familie gehört ein tiefer Dank für ihre immerwährende Unterstützung.