

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und
Funktionslehre
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Untersuchung der klinischen Bewährung von vollkeramischen
Cercon-Kronen mit
anatomischer Gerüstgestaltung - Eine prospektive Studie

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Elisa Rörster geb. Pätel
aus Berlin

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. I.Peroz
 2. Prof. Dr. med. dent. K. Böning
 3. Priv.-Doz. Dr. F. Beuer

Datum der Promotion: 30.11.2012

Meinem Vater gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Entwicklungsschritte auf dem Weg zur modernen Vollkeramikkrone	7
1.2	Dentalkeramiken im Überblick	8
1.2.1	Mechanische Eigenschaften von keramischen Werkstoffen und Versagenskriterien	8
1.3	Silikatkeramik	10
1.4	Oxidkeramik	11
1.4.1	Zirkonoxid / Y-TZP-A	11
1.5	Moderne vollkeramische Verbundsysteme mit CAD/CAM-Technologien	12
1.6	Versagensmodi vollkeramischer Verbundsysteme auf Y-TZP-A-Basis	14
2	Fragestellung	21
3	Material und Methode	23
3.1	Konstruktionsprinzip des anatomischen Gerüstdesigns	24
3.2	Patientengut	24
3.3	Ablauf der klinischen Behandlung und der Laborarbeit	26
3.4	Nachuntersuchung	35
3.5	Statistische Auswertung	39
4	Ergebnisse	40
4.1	Erhobene klinische Daten der Gruppe A	40
4.2	Erhobene klinische Daten der Gruppe B	47
4.3	Statistische Auswertung der klinischen Daten von Gruppe A und B	52
5	Diskussion	56
5.1	Diskussion des Materials und der Methode	56
5.1.1	Wahl des Materials	56
5.1.2	Wahl der Methode	57

5.1.3	Gerüstdesign.....	59
5.1.4	Wahl des Auswertungsverfahrens	61
5.2	Diskussion der Ergebnisse	62
5.2.1	Überprüfung der Nullhypothesen	62
5.2.2	Weitere Überlegungen anhand der Ergebnisse	64
6	Schlussfolgerungen.....	66
7	Zusammenfassung.....	67
8	Summary.....	69
	Abkürzungsverzeichnis.....	71
	Literaturverzeichnis	72
	Danksagung	79
	Lebenslauf.....	80
	Eidesstattliche Erklärung	81

1 Einleitung

Keramiken zeichnen sich außer durch ihre ästhetischen Möglichkeiten im Vergleich zu anderen Werkstoffen auch durch eine gute Biokompatibilität, niedrige Wärmeleitfähigkeit, Farbstabilität und hohe Verschleißfestigkeit aus (69, 111). Seit Jahrzehnten wird Keramik als Zahnersatzmaterial durch Materialzusammenstellung, Entwicklung verschiedener Herstellungs- und Bearbeitungsverfahren sowie Gestaltung optimiert.

Die aktuell geläufigste Art von Vollkeramikronen (VKK) im Seitenzahnbereich sind Kombinationen aus einer Oxidkeramik als Kernmaterial und einer silikatkeramischen Verblendung, sogenannte vollkeramische Verbundsysteme.

Die Hauptkritik an der VKK im Seitenzahnbereich liegt in der signifikant höheren Misserfolgsrate im Vergleich zur VMK (85, 97) und so gilt in Bezug auf die Langlebigkeit unter den keramisch verblendeten Kronen bis heute die VMK als 'Goldstandard' (55, 70, 100).

Bei der vollkeramischen Verbundkrone werden vor allem Chippings diskutiert, da sie den Hauptanteil der klinischen Misserfolge bestreiten (4, 46). Diskutiert wird, dass neben einer einmaligen überkritischen Belastung, die die Festigkeit der Keramik überschreitet, vor allem unterkritische Belastungen zu einer langsamen Rissausbreitung, ausgehend von Mikrofehlstellen innerhalb der Verblendkeramik, zu den Abplatzungen führen (7, 67, 72, 109). Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit der Materialzusammenstellung, den keramischen Bearbeitungsmodalitäten, dem Herstellungsprozess, der Befestigung oder mit der Untersuchung der Verbundkraft, alle mit dem Ziel, die Materialbeständigkeit von keramischen Verbundrestorationen zu verbessern. Die wenigsten von ihnen sind In-vivo-Studien (4). In den letzten Jahren war unter den Schlussfolgerungen immer wieder die Empfehlung zu finden, sich mehr mit der Gerüstgestaltung und der daran gekoppelten Schichtstärke der Verblendkeramik zu befassen, um hierin einen Schlüssel zu finden, die Häufigkeit des Auftretens von „Chippings“ zu reduzieren (33, 44, 59, 94).

Einige wenige In-vitro-Studien (74, 99), klinische Fallberichte (66, 86) und klinische randomisierte Studien (60) gibt es zu diesem Thema der modifizierten Gerüstgestaltung bereits, jedoch ist die Datenlage sehr gering und wegen der noch sehr kurzen

Untersuchungszeiträume kann über eine Langzeitbewährung noch keine sichere Aussage getroffen werden.

1.1 Entwicklungsschritte auf dem Weg zur modernen Vollkeramikkrone

Die ersten Vollkeramikkrone (VKK), die sogenannten Jacketkronen, sind bereits Ende des 19. Jahrhunderts eingesetzt worden. Sie wurden durch Präparationstechniken, Brennvorgänge unter Vakuum, Veränderung der Zusammensetzung durch Zugabe von Aluminiumoxid (71) oder durch die Armierung einer auf Magnesiumoxid basierenden Kernmasse mittels einer Platinfolie (75) im Laufe von ca. 100 Jahren in ihrer optischen Erscheinung und der mechanischen Belastbarkeit verbessert. Jedoch erreichten sie bezüglich ihrer Langlebigkeit nie zufriedenstellende Erfolgsaussichten und waren wegen ihrer geringen Festigkeit auf den Einsatz im Frontzahnggebiet beschränkt.

Die keramisch verblendete Metallkrone (VMK) erlebte ihren Durchbruch als es gelang, durch gezielte Modifikation der Materialzusammensetzung die unterschiedlichen thermischen Expansionskoeffizienten von Metall und Keramik aufeinander abzustimmen und als Anfang der 60er Jahre der chemische Verbund zwischen Metall und Keramik entwickelt wurde (98). Zunächst wurde die Verblendkeramik auf hochgoldhaltige Legierungen gebrannt. Erst Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre wurden zur Verblendkeramik kompatible Nichtedelmetall-Legierungen entwickelt und kamen immer mehr zum Einsatz (88, 113).

Doch der stets wachsende ästhetische Anspruch und die Forderung nach besserer Materialverträglichkeit rückte wiederum die Weiterentwicklung der metallfreien Kronen in den Vordergrund. Damit keine dunklen Kronenränder mehr die Ästhetik störten, dafür aber durch mehr Transluzenz ein natürliches Aussehen erzielt werden konnte, wurden im Laufe der letzten 40 Jahre viele verschiedene Vollkeramiksysteme entwickelt, die sich vor allem in ihren Herstellungsverfahren, den keramischen Werkstoffen an sich und den Befestigungsmaterialien unterscheiden. Es kamen Heißumformverfahren auf den Markt, bei denen der keramische Werkstoff gegossen (Dicor-System) oder gepresst (IPS Empress®) wurde. Adhäsive Befestigungstechniken wurden eingesetzt, die ihre Vervollkommnung in Dentin- und Schmelzkonditionierung einerseits und in dem Ätzen und Silanisieren der Keramik andererseits fanden. Ein für die Festigkeitssteigerung bedeutender Entwicklungsschritt war die Einführung des In-Ceram®-Systems (von Vita Zahnfabrik), das in einem zweistufigen Prozess gefertigt wird. Zunächst wird mittels

eines Aluminiumoxid-Schlickers ein poröses Grundgerüst gesintert, das anschließend bei einem zweiten Brand mit einem farbgebenden Lanthanglas infiltriert wird. Mit der Einführung der Oxidkeramik-Systeme wurde endlich auch die vollkeramische Kronen- und Brückenversorgung der Seitenzahnbereiche mittels konventioneller Zemente auf Phosphat-Basis oder Glas-Ionomer-Zementen erfolgversprechend (4, 22).

1.2 Dentalkeramiken im Überblick

Keramiken sind nichtmetallische anorganische Verbindungen, die ganz oder zu einem Anteil kristallin sind. Sie sind aus Rohstoffen durch Brennvorgänge zu sehr festen Strukturen gesintert worden.

Keramik gilt als ein Material mit guter **Biokompatibilität**. Dies liegt zum einen an der guten Verträglichkeit der Keramiken mit biologischem Gewebe an sich, wie auch an der durch die glatte Oberfläche bewirkten geringen Plaqueakkumulation, die niedriger als an sämtlichen anderen Restaurationsmaterialien oder sogar als an der natürlichen Zahnoberfläche ist (18). Auch entstehen keine galvanischen Ströme zwischen einer Keramikrestauration und anderen metallischen Rekonstruktionen und gewebschädliche Korrosionserscheinungen bleiben aus (68).

1.2.1 Mechanische Eigenschaften von keramischen Werkstoffen und Versagenskriterien

Die **Härte** von zahnärztlichen Keramiken liegt mit 460 bis 660 kg/mm² deutlich höher als die des menschlichen Zahnschmelzes (343 kg/mm²), was zu Beginn zu starken Abrasionen im natürlich bezahnten Gegenbiss führte. Bei den modernen Keramiken, kann dieses Problem aber umgangen werden (47).

Keramik ist ein spröder Werkstoff. Sie kann sehr hohe Werte für die Druckfestigkeit erreichen, während sie eine vergleichsweise niedrige Zugfestigkeit aufzeigt. Die **Biegefestigkeit** beschreibt die Fähigkeit bei einmaliger steigender Belastung, einem Bruch zu widerstehen. Bei der Krafteinleitung auf einen Prüfkörper (z.B. bei dem Drei-Punkt- oder dem Vier-Punkt-Biegeversuch) entsteht durch das Durchbiegen eine Kombination aus Zug- und Druckbelastung. Bei Keramikrestorationen sind es zumeist die Zugspannungen, die zum Versagen führen (64). Wird eine kritische Schwellbeanspruchung überschritten, so ist Keramik nicht in der Lage, die Spannungen

durch plastische Verformung abzubauen und es kommt spontan zu einem **Spröbruch** (36).

Der klinisch relevantere Anteil der Materialfestigkeit wird jedoch durch die Eigenschaft, der Rissausbreitungen zu widerstehen (**Risszähigkeit**) bestimmt (114). In vivo werden Keramikrestorationen in der Regel unterkritischen zyklischen- oder Dauerbelastungen ausgesetzt. Diese werden zum Beispiel durch Spannungen, die während des Herstellungs- oder Befestigungsverfahrens entstehen, oder durch die Kauvorgänge hervorgerufen. Die Spannungen konzentrieren sich an kleinsten, herstellungsbedingten Gefügefehlern an der Oberfläche oder im Volumen der Keramik oder an nicht optimalen Verbundgrenzen. Durch die lokale Überschreitung der kritischen Risszähigkeit entstehen kleine Risse. Weitere oder anhaltende Belastungen führen zu einem unterkritischen Risswachstum, bis durch das Erreichen einer kritischen Risslänge und einer instabilen, schnellen Rissausbreitung das totale Versagen der Restauration verursacht wird (67, 81, 109). Der Schwellenwert, an dem die maximale Festigkeit erreicht wird, ist eine Werkstoffkenngröße, die im Biegeversuch experimentell ermittelt werden kann und durch den K_{Ic} -Wert in MPa/m angegeben wird. Je höher der K_{Ic} -Wert, umso höher ist die kritische Risszähigkeit und damit die Fähigkeit eines Materials dem Wachstum eines Risses zu widerstehen und den Bruch zu vermeiden. Für die Langlebigkeit einer Keramikrestauration sind die Risszähigkeit der Keramik, sowie der Schwellenwert, bis zu dem keine Rissausbreitung stattfindet, ausschlaggebend (72).

Keramische Restorationen verlieren im feuchten Milieu an Festigkeit. Ursächlich hierfür ist die Empfindlichkeit gegen **Spannungsrissskorrosion**. In der Mundhöhle wirkt Wasser, bzw. dessen Ionen als Angriffsmittel (19, 20). Steht das Material zusätzlich unter Zugspannung, so tritt die Korrosion hauptsächlich an der Rissspitze auf, wodurch der Riss länger wird und die Festigkeit abnimmt (115). Glaskeramiken sind empfindlicher gegenüber Spannungsrissskorrosion als Oxidkeramiken.

Im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen, deren Festigkeitsverteilung einer Gaußschen Glockenkurve entspricht, unterliegt Keramik einer asymmetrischen Festigkeitsverteilung mit sehr viel größerer Streuung der Festigkeitswerte und einem Kurvenbeginn bei nahezu null, einer **Weibull-Verteilung** (112). Wegen des asymmetrischen Streuungsspektrums sind Angaben über die Festigkeit einer Restauration anhand einer Mittelwertbestimmung von experimentell gewonnenen

Daten, wie es für metallische Werkstoffe üblich ist, ungünstig. Anhand des Weibull-Parameters m (Streuungsparameter), der sich im Vier-Punkt-Biegeversuch ermitteln lässt, können Festigkeitsaussagen auf andere Probenvolumina und Belastungskonfigurationen getroffen werden (68). Außerdem lassen sich - wenn beide Weibull-Parameter m und σ_0 (Niveauparameter) ermittelt sind - für bestimmte von außen einwirkende Belastungen Versagenswahrscheinlichkeiten berechnen (68).

1.3 Silikatkeramik

Silikatkeramiken sind sehr heterogene Werkstoffe, die aus einer amorphen Matrix (Glasphase) und kristallinen Strukturen (Keramikmerkmal) bestehen. Hierzu gehören die Feldspatkeramiken, die zum Beispiel für die oben erwähnten klassischen Jacketkronen oder auch als gebräuchliche Verblendkeramiken gebraucht werden. Sie werden zum größten Rohstoffanteil aus Feldspat (hauptsächlich Kalifeldspat, aber auch Natronfeldspat und zu einem geringen Teil Kalkfeldspat) gebildet, der sich für Dentalkeramiken typischerweise aus folgenden Bestandteilen zusammensetzt:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
65,0%	18,5%	12,5%	2,5%	0,2%	0,002%

Tab. 1 Typische chemische Zusammensetzung eines für Dentalkeramiken verwendeten Feldspats in Massen-% (52)

Neben Feldspat besteht eine Silikatkeramik zu etwa 10 – 30% aus Quarz, bis zu 3% aus Kaolin, aus zusätzlichem Aluminiumoxid und ist mit Flussmitteln zur Absenkung der Schmelztemperatur, mit Pigmenten für die Farbabstimmung und Anteilen trübender Substanzen für die Einstellung der Opazität versetzt (52). Die für das Dentallabor gefertigten Feldspatkeramiken sind so aufgebaut, dass in einer amorphen Glasphase, die die Matrix darstellt, Leuzitkristalle ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$) eingebettet sind. Diese entstehen durch das inkongruente Schmelzverhalten des Kalifeldspats. Der Leuzitkristallgehalt, der über bestimmte Temperaturführungen eingestellt werden kann (63), bestimmt unter anderem den Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) und die Festigkeit des fertigen Werkstoffs.

Silikatkeramischer Zahnersatz bietet vor allem eine sehr hohe Ästhetik mit der Möglichkeit, die Natürlichkeit echter Zähne nachzuahmen. Jedoch ist der Indikationsbereich etwas eingeschränkt, da es bisher noch nicht möglich ist, auch für

größere Restaurationen im Seitenzahnbereich eine ausreichende Dauerfestigkeit zu erreichen.

1.4 Oxidkeramik

Eine Oxidkeramik kann aus einfachen dicht gesinterten Oxiden wie zum Beispiel Dialuminiumtrioxid (Al_2O_3 , Aluminiumoxid) oder Zirkoniumdioxid (ZrO_2 , Zirkonoxid) bestehen und durch verschiedene zugesetzte Oxide (z.B. CaO , MgO , Y_2O_3 oder CeO_2) in ihrer Eigenschaften gesteuert werden (83). Es können aber auch komplexe Oxide wie Spinell ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) oder Mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) auftreten. Da Oxidkeramiken sehr opak sind, werden sie zur Verbesserung der Ästhetik mit Lasur- oder Verblendmassen beschichtet (4). Eine Sonderstellung nimmt das glasinfiltrierte Oxidgerüst bei der VITA In-Ceram®-Technik ein. Hier besteht das Oxidgerüst entweder aus nahezu reinem Aluminiumoxid, aus einem Aluminium-Magnesium-Mischoxid (Spinell) oder aus Aluminiumoxid, das durch Einlagerung von fein dispersen Zirkonoxidpartikeln verstärkt wird.

1.4.1 Zirkonoxid / Y-TZP-A

Vor allem mit auf Zirkonoxid basierenden Oxidkeramiken lassen sich Druckfestigkeitswerte erreichen, die mit 2000 MPa weit über den physiologischen Kaukräften liegen (65). Die Zugfestigkeit liegt dagegen bei 900 bis 1200 MPa (83). In mehreren Studien wurde die Bioverträglichkeit von Zirkonoxid bestätigt (18, 21, 65, 82). Die relativ niedrige Lichtdurchlässigkeit von Zirkonoxid im Vergleich zu Silikatkeramiken variiert zwischen den Zirkonoxidkeramiken verschiedener Hersteller. So ist Zirkonoxid als Gerüstmaterial mal für den Einsatz in ästhetisch anspruchsvollen Regionen oder aber auch schon mit relativ geringer Schichtdicke zum Abdecken verfärbter Stümpfe oder Metallaufbauten oder -abutments geeignet (10, 65).

In Abhängigkeit vom Umgebungsdruck und der Temperatur tritt Zirkonoxid kristallographisch gesehen in drei verschiedenen Zuständen auf. Bei normalem Luftdruck und Raumtemperatur bis zu 1170 °C liegt es in monokliner Form vor. Zwischen 1170 und 2370 °C in tetragonaler und über 2370 °C bis zum Schmelzpunkt (2680 °C) in kubischer Kristallstruktur (34). Die Umwandlung von der tetragonalen Phase (t) in die monokline Phase (m) bei einer Abkühlung auf Raumtemperatur geht mit einer Volumenzunahme um ca. 4,5% einher. Bei reinem Zirkonoxid führt das zu

Spannungen mit Rissbildungen. Wegen Mangel an plastischer Verformbarkeit kann kein Spannungsabbau an den Rissspitzen erfolgen. Es kommt bei weiterer mechanischer Beanspruchung zu Rissausbreitungen, die im Versagen des Werkstückes enden. Der Effekt der Volumenexpansion während der t/m-Umwandlung kann aber bei dem Konzept der Phasentransformationsfestigung genutzt werden, um die Festigkeitseigenschaften von keramischen Werkstoffen zu verbessern (104). Maßgeblich für diesen Effekt der spannungsinduzierten Phasenumwandlung ist, in welcher Weise der Werkstoff dotiert wurde. Zugesezte Oxide werden in das Kristallgefüge des Zirkonoxids eingebaut und führen bei bestimmter Konzentration zu einer Stabilisierung der tetragonalen oder der kubischen Phase. Bei dem als Dentalkeramik verwendeten Zirkonoxid handelt es sich üblicherweise um Y-TZP-A (Yttria Oxide stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals doped with Alumina). Hier werden bis zu 5 Gew.-% Y_2O_3 dotiert, was dazu führt, dass trotz Abkühlung auf Raumtemperatur das Kristallgitter zunächst vollständig aus einer metastabilen tetragonalen Phase besteht. Ein weiterer Zusatz von weniger als 1 Gew.-% Aluminiumoxid erhöht die Korrosionsbeständigkeit der Keramik in feuchtem Milieu. Treten nun herstellungsbedingte oder durch mechanische Beanspruchung hervorgerufene Risse in der Keramik auf, so wird durch die die Rissspitze begleitende Zugspannung eine Transformation einzelner Zirkonoxidteilchen in die monokline Phase induziert (spannungsinduzierte Phasenumwandlung) (65). Die resultierende lokale Volumenzunahme wandelt die Zugspannung, die die Rissflanken umgibt, in eine Druckspannung um und erschwert die Rissausbreitung. Aber auch die Mikrorisse, die durch die Volumenzunahme bei sich spontan transformierenden Zirkonoxidteilchen entstehen, können sich ausbreitende Risse stoppen oder umlenken und so die Bruchzähigkeit steigern.

1.5 Moderne vollkeramische Verbundsysteme mit CAD/CAM-Technologien

Bei den vollkeramischen Verbundsystemen können die positiven Eigenschaften von Verblend- und Kernmaterial wie ästhetische Fähigkeiten und erhöhte Festigkeit sinnvoll kombiniert werden (101).

Für die Bearbeitung und Herstellung von Restaurationen mit oxidkeramischen Anteilen eignen sich CAD/CAM-Technologien (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) besonders gut. Die genauen Verfahren unterscheiden sich vielfältig und

herstellersystemabhängig. Einige Systeme bieten zudem für die verschiedenen Prozesse mehrere Verfahrenswege an. Für das Arbeiten am Computer bzw. das Steuern der Fräseinheiten über einen Computer ist die Erfassung digitaler Daten notwendig. Je nach Art der Restauration oder des Herstellungssystems erfolgt die Datenerfassung über mechanische oder mittels optischer Digitalisierung, eventuell sogar durch eine intraorale Digitalisierung (bei CEREC[®] 3) (104), bei der überdies auf den konventionellen Weg über Abformung und Gipsmodellherstellung verzichtet werden kann. Zumeist systemgebundene Softwareprogramme ermöglichen das virtuelle Gestalten der Gerüste. Die computerunterstützte Gerüstherstellung erfolgt entweder nach Datenübermittlung in zentralen Fertigungseinheiten beim Hersteller oder dezentral in der Praxis bzw. im Labor an systemeigenen Schleifmaschinen. Zirkonoxid übertrifft Aluminiumoxid in den mechanischen Eigenschaften bezüglich der Biegefestigkeit und der Verschleißfestigkeit und ist zudem noch weniger spröde, was sich für den Schleifprozess als günstig erweist, weil somit weniger Eigenspannungen entstehen (60, 65, 116). Um bei Zirkonoxid die Schleifvorgänge zu beschleunigen und den Werkzeugverschleiß zu verringern, können die Gerüste in auf das Material abgestimmter vergrößerter Form aus vorgesinterten Blöcken herausgearbeitet und erst anschließend dicht gesintert werden (Weißbearbeitung z.B. Cercon[®]) (4, 110). Eine andere Art des subtraktiven Arbeitens bietet das Verfahren, die Werkstücke aus vorgesinterten Aluminiumoxid-Rohlingen herauszuschleifen und anschließend zu glasinfiltrieren (mögliche Variante bei VITA InCeram[®]). Neben diesen subtraktiven Verfahren gibt es zudem noch additive Verfahren, zu denen unter anderem das Umformen (Aufpressen auf vergrößerte Duplikatstümpfe mit anschließender Außenkonturierung und Sinterung z.B. Procera[®]) und auch das Urformen, bei dem das Gerüstwerkstück (z.B. ce.novation[®]) aus keramischem Ausgangsmaterial (Pulver oder Schlicker) entsteht, zählen (104). Nachdem die Gerüste von Hand ausgearbeitet und aufgepasst wurden, erfolgt die Verblendung. Die möglichen Verblendverfahren reichen von manueller Gestaltung durch Schichtung oder Überpressen bis zur CAD/CAM gestalteten Verblendung. Die Befestigung kann bei Restaurationen auf Zirkonoxidbasis wegen der hohen Festigkeit bei ausreichender Retention mit konventionellen Zementen erfolgen (4, 53). Manche Hersteller empfehlen ein vorheriges Sandstrahlen der Gerüstinnenfläche mit Aluminiumoxid (z.B. Cercon[®] und DCS PRECIDENT[®]-System) (90), was in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert wird (35, 57, 118). Eine adhäsive Befestigung führt bei Zirkonoxidgerüsten nicht zu einer erhöhten Frakturresistenz

sondern ist dann sinnvoll, wenn die Präparationsform nur eine geringe Retention ermöglicht. Da ein Konditionieren mit Flusssäure auf Zirkonoxid kein retentives Ätzmuster erzeugt (9, 79), sind andere Verfahren notwendig, um eine erhöhte Mikroretention zu erzeugen und einen adhäsiven Verbund zu erreichen. Manche Hersteller empfehlen das Sandstrahlen und/oder das Silikatisieren/Silanisieren, das aus vielen In-vitro-Studien als beste Methode hervorgeht (16, 84, 107, 117). Andere empfehlen den Gebrauch dualhärtender, zum Teil selbstätzender Kompositzemente, die ohne weitere Maßnahmen einen dauerhaften chemischen Verbund mit Zirkonoxid eingehen wie z.B. RelyX™ Unicem (3M ESPE, Seefeld) oder Panavia™ 21 (KURARAY CO, Tokyo, Japan) (62, 78). Bezüglich der Befestigung von Restaurationen auf Zirkonoxidbasis konnten von bisherigen Studien keine Veränderungen durch die Verwendung adhäsiver Materialien hinsichtlich Frakturresistenz oder fraktographischen Merkmalen erreicht werden (89, 91, 92) sodass Zinkoxid-Phosphatzemente und Glasionomerezemente weiterhin als probates Befestigungsmaterial angesehen werden (22, 26, 53).

Bei der Verarbeitung des fertigen Gerüsts wird eine schleifende Bearbeitung unter Wasserkühlung empfohlen, um einer temperaturabhängigen Phasenumwandlung vorzubeugen (73).

1.6 Versagensmodi vollkeramischer Verbundsysteme auf Y-TZP-A-Basis

Misserfolge durch Materialversagen (Frakturen) kann man unterscheiden in:

- Verblendfrakturen

- Risse/Sprünge in der Verblendung, die sich bis zum Gerüst ausbreiten können
- Abplatzungen innerhalb der Verblendkeramik (Chipping/kohäsives Versagen)
- Abplatzungen mit Gerüstfreilegung (adhäsives Versagen)

- Gerüstfrakturen

Mit Einführung des teilstabilisierten Zirkonoxids haben die Raten der Misserfolge im Seitenzahnbereich durch Gerüstfraktur deutlich abgenommen und befinden sich annähernd im Bereich der VMKs, während Verblendfrakturen weiterhin eine große Rolle spielen (32, 60, 94, 96). In einem systematischen Review von HEINTZE und ROUSSON (46) werden bei 595 eingegliederten keramischen Verbundkronen mit

Zirkonoxidgerüst weniger als 1% Gerüstfrakturen aber 24% Abplatzungen von Verblendkeramik erfasst. Auch AL-AMLEH et al. (4) beobachten in ihrer Literaturstudie von 2010, dass bei den vollkeramischen Verbundrestaurationen auf Zirkonoxidbasis der Hauptanteil der klinischen Misserfolge durch Abplatzungen der Verblendkeramik entsteht. Die Abplatzungen werden unterschieden in Abplatzungen, die die gesamte Schicht der Verblendkeramik betreffen und das Gerüst oder die Linerschicht freilegen, jedoch lokal begrenzt sein können, und Abplatzungen innerhalb der Verblendkeramik, ohne das Gerüst frei zu legen (Chippings). Anders ausgedrückt treten die Misserfolge durch Überschreiten der adhäsiven Kräfte an der Verbundgrenze oder der kohäsiven Kräfte des Verblendmaterials auf. Da die Stärke einer geschichteten vollkeramischen Struktur durch ihre schwächste Komponente bestimmt wird (44), könnte man folgern, dass der Verbund und das Verblendmaterial die schwächsten Komponenten seien. Nach einer In-vitro-Studie von AL-DOHAN et al. (5) aus dem Jahr 2004, die die Verbundkraft der Grenzfläche von keramisch verblendeten Materialien untersuchte, treten die meisten Misserfolge innerhalb der Verblendkeramik in der Nähe der Gerüst-Verblend-Grenzfläche auf, ohne das Gerüst freizulegen (Chipping), also mit einer verbleibenden Schicht von Verblendkeramik. Er beobachtete außerdem, dass in dem seltenen Fall einer Abplatzung der kompletten Verblendschicht das Gerüst mit Liner-Material bedeckt blieb. Zu gleichen Ergebnissen kommen FISCHER et al. (40), dass die kohäsive Kraft des Verblendmaterials der Verbundkraft zwischen Gerüst/Liner und Verblendung unterlegen ist und dass bei Scherkaftwirkungen der Verblendkeramikbereich nahe der Verbundgrenze am schwächsten ist. Dagegen wurde in der In-vitro-Studie von ABOUSHELIB et al. (1) beobachtet, dass ca. 90% der Misserfolge direkt an der Grenzschicht auftreten. Er interpretiert dieses Resultat mit der Aussage, dass die Verbundkraft niedriger ist, als die kohäsive Kraft des Verblendmaterials. Er schreibt daher einzig dem Verbund zwischen Verblendung und Gerüst den Charakter der schwächsten Komponente bei vollkeramischen Verbundsystemen zu und sagt, dass die Gerüst-Verblend-Verbundkraft signifikant zu ihrem Erfolg beiträgt. In allen drei Studien wurden die Prüfkörper untersucht, ohne vorher Materialermüdungen, wie z.B. durch kauähnliche, zyklische Belastung, thermische Belastung und Wasserlagerung, zu provozieren. Um Schlussfolgerungen für klinische Versagensmodi ziehen und eine Aussage über die Dauerfestigkeit treffen zu können, reichen aber einmalige Belastungen bis zum Bruch und Berechnungen der Verbundkraft nicht aus, sondern die Studien müssen eine Korrelation zu den

mechanischen Beanspruchungen in der Mundhöhle mit einbeziehen (36, 114). SILVA et al. weisen diesbezüglich mit ihrer In-vitro-Studie von 2010 (100) darauf hin, dass für VMK alleine die Belastungsstärke das Frakturereignis diktiert, bei VKK aber durch Ermüdung der Misserfolg signifikant beschleunigt wird. Nach sieben Tagen Lagerung in Wasser und einer zyklischen Belastung in einem Simulator für Kaubewegungen stellten sie im Gegensatz zu den VMK bei beiden untersuchten VKK-Systemen (Lava® und Cercon®) deutliche Materialermüdung fest. Die Misserfolge bei den VKK zeigten sich bei ihnen ausschließlich in Chippings. Auch TSALOUCHOU et al. ahmten in ihrer Studie 2008 (106) durch Wassereinlagerung und zyklische Belastungen die oralen Bedingungen nach, bevor sie die verblendeten Y-TZP-A-Prüfkörper bis zum Versagensbruch belasteten. Und auch bei ihnen traten hauptsächlich Chippings auf. Ähnliche Ergebnisse werden durch weitere In-vitro-Studien (23, 24) und einem klinischen follow-up (77) belegt. Entsprechend konnten AL-AMLEH et al, bei der oben genannten Literaturübersicht deutlich mehr klinische Versagen durch Chippings zusammentragen als durch Abplatzungen mit Gerüstfreilegungen (4).

Abplatzungen finden ihren Ursprung häufig in Haarrissen, die an Fehlstellen und in Folge von Eigenspannungen nahe der Verbundgrenze entstehen. Um bei keramischen Verbundsystemen Haarrisse bereits bei den Brennvorgängen und der anschließenden Abkühlung zu vermeiden, müssen die WAK der Verblendkeramik und des darunter liegenden Gerüstmaterials aufeinander abgestimmt werden (1, 2). Die Auswirkungen von unterschiedlichen Wärmeausdehnungsverhalten der Materialien ist auch schon von metall-keramischen Verbundsystemen bekannt und untersucht worden (25, 39). Das Wärmeausdehnungsverhalten der Materialien spielt in allen Verbundsystemen eine wichtige Rolle und wurde bereits für die Herstellung von metallkeramischen Restaurationen untersucht. Eine Diskrepanz des WAK von mehr als 10% dagegen ergibt eine signifikante Zunahme von Haarrissbildungen in der Verblendkeramik (7). ISGRO et al. (50) beobachteten 2005 dazu, dass die Verbiegung während der Brennvorgänge umso größer ist, je stärker sich zwei geschichtete Keramikmaterialien in ihrer Wärmeausdehnung unterscheiden. Eine andere ebenfalls in vitro geführte Studie von ihm (49) bestätigt, was bereits aus der metallkeramischen Verarbeitung bekannt ist (25), nämlich dass eine knappe positive Diskrepanz (WAK von Verblendmaterial geringfügig niedriger als der des Gerüstmaterials) die besten Erfolge erzielt. Auch SWAIN (102) vermutet, dass die Eigenspannung, die unter anderem durch das

Tempern in der Keramik entsteht, ursächlich für das erhöhte Auftreten von Chippings ist. Er sieht neben nicht so gut harmonisierenden WAK auch in der Schichtstärke der Verblendkeramik und in der niedrigen Wärmeleitfähigkeit von Y-TZP-A bzw. in einer zu schnellen Abkühlungsgeschwindigkeit nach dem Sintern mögliche Quellen für verbleibende hohe Eigenspannungen. Er vermutet, dass es durch eine gleichmäßige und relativ dünne Verblendschicht, eine leicht positive Diskrepanz der insgesamt relativ niedrigen WAK und langsames bzw. gesteuertes Abkühlen möglich sei, weniger hohe Spannungen an der Grenzfläche zu erzeugen, die zu Verblendfrakturen führen könnten. Der Schichtstärke der Verblendkeramik schreibt SWAIN den einflussreichsten Charakter zu. Einen besonderen Einfluss des Elastizitätsmoduls auf die Höhe der Eigenspannung kann er dagegen nicht bestätigen. GUAZZATO bestätigt durch seine In-vitro-Studie 2010 (45), dass bei den Prüfkörpern die Frakturnrate der Verblendkeramik sowohl durch Zunahme der Verblendschichtdicke als auch durch eine schnellere Abkühlung erhöht werden konnte. Auch aus anderen Studien geht hervor, dass die Schichtdicke der Verblendkeramik Einfluss auf die Eigenspannung innerhalb des Materials und damit auf den Erfolg einer Restauration ausübt (37, 48). Während an Stellen mit dünner Verblendschicht vorwiegend von der Grenzfläche ausgehende, sich zur Oberfläche ausbreitende Haarrisse beobachtet werden konnten, waren es bei vergleichsweise dickerer Verblendschicht Haarrisse, die sich von der Oberfläche ausgehend kegelförmig ins Innere ausbreiteten (33, 59). Ein gesteuertes Abkühlen könnte neben der Reduzierung der Eigenspannung nahe der Verbundgrenze außerdem zu einer höheren Druckspannung an der Oberfläche der Verblendkeramik führen. Diese Vorspannung kann eventuellen Zugbelastungen entgegenwirken und es wird vermutet, dass dadurch Abplatzungen vermindert werden können (103).

Diskutiert wurde eine Zeit lang auch, ob neben der Abstimmung der WAK von Verblend- und Gerüstkeramik, Dicke der Verblendschicht und dem Abkühlprozess nicht auch unterschiedliche Arten der Oberflächenbearbeitung oder das Auftragen eines Liner-Materials zu signifikanten Unterschieden in der Verbundkraft und der Misserfolgsrate führen. Aus einer In-vitro-Studie von FLEMING et al. (41) geht hervor, dass mit glatteren Gerüstoberflächen eine höhere Biegefestigkeit erreicht werden kann. Eine In-vitro-Studie von ABOUCHELIB et al. (1) aus dem Jahr 2005 besagt dagegen, dass das Polieren der Gerüstoberfläche keinen Effekt auf die Verbundkraft von Gerüst und Verblendung hat. In der gleichen Studie wurde das Auftragen eines Liners im Cercon®-

System untersucht und festgestellt, dass das Weglassen des Liners zu einer signifikant schwächeren Zugfestigkeit führte. Der Gebrauch des Liners führte nahezu zu einer Verdopplung der Verbundkraft. In einer Studie, die ein Jahr später veröffentlicht wurde, konzentrierten sich ABOUCHELIB et al. (3) auf die Verbundkraft verblendeter Zirkonoxid-Keramiken. Er empfiehlt, Liner zu gebrauchen, wenn die Verblendkeramik geschichtet wird. Neben einem Anstieg der Verbundkraft konnte er auch eine Verschiebung von grenzflächigen, also adhäsiven zu kohäsiven Misserfolgen feststellen. Auch FISCHER et al. (40) wollten 2008 mit einer In-vitro-Studie die Auswirkungen von Oberflächenbearbeitung und Liner auf die Gerüst-Verblend-Verbundkraft untersuchen. Sie beobachteten keine Verbesserung durch Oberflächenbearbeitung in Bezug auf die Bruchfestigkeit, wiesen jedoch darauf hin, dass, wie sie anhand der ausschließlich kohäsiven Misserfolge interpretierten, nicht die Verbundkraft untersucht wurde. Was elektronenmikroskopisch beobachtet werden konnte war, dass der Riss von der Grenzfläche ausgehend sich in Richtung Verblendkeramik ausbreitete und nahe der Grenzfläche zum Chipping führte. Zum Versagen führte demnach eine kritische Scherkraft-Belastung, die die grenzflächennahe kohäsive Kraft des Verblendmaterials überstieg. Eine Verbesserung dieser Scherfestigkeit konnte durch Vorbehandeln des Zirkonoxidgerüsts mittels Polieren, Sandstrahlen oder des Auftragens eines Liners nicht signifikant verändert werden. Fischer et al. empfehlen, sich in weiteren Untersuchungen nicht auf die Verbundkraft sondern auf die Verbesserung der (Scher-) Festigkeit der Verblendkeramik zu konzentrieren.

Es wurde nur in wenigen Studien untersucht, ob ein verändertes Kronendesign zu einer verbesserten Bruchfestigkeit führt:

POGONCHEFF und DUFF beschreiben in einem klinischen Fallbericht von 2010 (86) die Eingliederung einer VKK auf einem zweiten Molaren im Oberkiefer, bei dem das Zirkonoxidgerüst palatinal und interproximal eine Schulter aufweist, die das Verblendmaterial unterstützen soll. Bukkal ist der Rand aus ästhetischen Gründen aus Verblendmaterial gestaltet. Er lehnt sich in der Gerüstgestaltung stark an die Erkenntnisse aus der metallkeramischen Kronentechnik und erhofft sich dadurch ein Vermeiden von interproximalen Abplatzungen. Auch bei einem klinischen Fallbericht von MARCHACK et al. (66) und einer In-vitro-Studie von LORENZONI et al. (60) wurde das Zirkonoxidgerüst derart gestaltet, dass eine bis zu 1 mm dicke und 2 mm hohe

Schulter lingual oder palatinal und interproximal bis zu 3,5 mm hoch den Kronenrand ausbildet, auf der das Verblendmaterial mit innen gerundeter Kante und nach außen hin mit stumpfem Winkel angrenzt, während bukkal der ästhetische Kompromiss einer Verblendung bis marginal gewählt wurde. Ein anderes Ziel war, die Verblendkeramik in möglichst gleichmäßiger Schichtstärke herzustellen. MARCHACK et al. benutzten hierfür eine Wachsmodellation, die zurückgeschnitten und gescannt wurde (66), während POGONCHEFF und Duff sowie LORENZONI et al. die Gerüste am Computer gestalteten (60, 86). Nur LONRENZONI et al. konnten aufgrund des Studiendesigns die Kronen mit einer Kontrollgruppe, deren Gerüste nicht modifiziert wurden, vergleichen. Eine niedrigere Chippingrate konnten sie nicht belegen, jedoch bemerkten sie, dass das Ausmaß der Chippings bei den gerüstmodifizierten Zirkonoxidkronen beachtlich geringer war als bei der Kontrollgruppe. Über den klinischen Erfolg dieser Art von Gerüstmodifikation für die Langlebigkeit der Krone insgesamt oder für die Verminderung von Chippings und Verblendfrakturen allgemein können auf Grund der geringen Anzahl der Kronen und der relativ kurzen Zeit in situ bisher keine Schlüsse gezogen werden.

Die Literaturstudien der letzten Jahre über das Thema Vollkeramik kommen zu folgenden Ergebnissen:

- Es gibt viele In-vitro-Studien, die Bruchfestigkeiten, Frakturmodi oder Verbundkräfte verschiedener Materialien oder Herstellungsverfahren untersuchen, jedoch können diese nur Anstoß für weitere In-vivo-Studien geben, aber nicht für Aussagen über klinischen Erfolg herangezogen werden (54).
- Die meisten klinischen Studien über vollkeramische Verbundkronen auf Zirkonoxidbasis sind in ihrem Studiendesign und ihren Schwerpunkten so unterschiedlich, dass sich die Ergebnisse scheinbar gravierend unterscheiden, aber auch teilweise gar keine gemeinsamen Schlüsse gezogen werden können (6). Zum Beispiel werden in einigen Studien Überlebensraten betrachtet, während in anderen Studien Misserfolge oder Erfolge in Prozent angegeben werden. Chippings werden als relativer Misserfolg, als Nicht-Überleben, manchmal auch als technische oder biologische Komplikation bewertet (6, 97). Zudem unterscheiden sich die Bewertungskriterien für den klinischen Erfolg. In einigen Studien wird unterschieden zwischen kleinen oder größeren Chippings, zwischen Chippings, die belassen wurden, repariert werden konnten oder infolge deren die Krone entfernt wurde, andere nehmen keine Unterteilung vor.

In der Literatur sucht man vergeblich nach aussagekräftigen Studien, die sich mit dem Ausmaß und der Lokalisation von klinisch aufgetretenen Chippings beschäftigen. Eine Schlussfolgerung vieler In-vivo- wie In-vitro-Studien ist, dass tiefergehende Untersuchungen bezüglich des Gerüstdesigns bzw. der Schichtstärke der Verblendkeramik sinnvoll erscheinen (15, 33, 37, 48, 59, 74, 105).

2 Fragestellung

Die Ursache für die im Vergleich zur VMK vermehrten Misserfolge durch Materialversagen bei keramischen Verbundkronen geht mit der erhöhten Chippingrate einher. Chippings treten gehäuft nach zyklischer Dauerbelastung auf, denn hierbei entstehen selbst bei unterkritischer Belastung Risswachstum und –ausbreitungen. In vielen In-vitro-Studien wurde bewiesen, dass durch eine erhöhte Verbundkraft und durch herstellungsbedingte Verminderung der Eigenspannung innerhalb der Keramik sowie durch eine veränderte Dimensionierung der Schichten, Frakturen der Prüfkörper reduziert werden konnten und immer wieder liest man den Hinweis, dass tiefergehende Untersuchungen bezüglich des Herstellungsprozesses und des Gerüstdesigns bzw. der Schichtstärke der Verblendkeramik sinnvoll erscheinen. Jedoch fehlen noch aussagekräftige, prospektive In-vivo-Studien, die diese Erkenntnisse auch klinisch widerspiegeln.

Ziel dieser Arbeit ist es, in einer randomisierten, prospektiven klinischen Studie die klinische Bewährung eines anatomisch verändertes Gerüstdesigns mit der daraus resultierenden veränderten Schichtstärke der Verblendkeramik für den Seitenzahnbereich zu untersuchen.

Insbesondere soll geklärt werden, ob sich im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit gleichmäßiger Gerüststärke, aber ansonsten gleichen Labor- und Materialbedingungen, eine Veränderung der Fraktur- und speziell in der Chippingrate ergibt.

Arbeitshypothesen:

Die Therapie mit vollkeramischen Verbundkronen auf Zirkonoxid-Basis im Seitenzahnbereich mit anatomisch gestalteten Gerüsten führt

- zu einer verbesserten Überlebensrate des Materials
- zu einem verminderten Auftreten von Materialversagen der Verblendung und
- zu einer insgesamt besseren klinischen Bewährung

als mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke.

Nullhypothesen:

Vollkeramische Verbundkronen auf Zirkonoxid-Basis im Seitenzahnbereich mit anatomisch gestalteten Gerüsten

haben gleiche Überlebenswahrscheinlichkeiten bezüglich des Materials

weisen mit gleicher Häufigkeit Materialversagen auf

haben den gleichen klinischen Erfolg

wie gleichartige Kronen mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke.

3 Material und Methode

Die vorliegende Studie wurde als prospektive randomisierte kontrollierte Studie (RCT) angelegt. Der Studienentwurf wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki von der Ethikkommission der Charité am 02.06.2005 genehmigt (Ethikkommissions-Antragsnummer: DeguDent EA 4/061/05).

In der vorliegenden In-vivo-Studie wurde die klinische Langzeitbewährung von Kronen mit anatomisch modifiziertem Gerüstdesign im Vergleich zu Kronen mit konventionellen Gerüstdimensionen, also gleichmäßiger Schichtstärke, untersucht.

Hierfür erfolgte die Herstellung nach dem Cercon® - Verfahren und Eingliederung von insgesamt 72 vollkeramischen Seitenzahnkronen, die in zwei Gruppen zu unterteilen sind. In der ersten Gruppe, die als Kontrollgruppe diente (Gruppe A), wurden 36 Kronen bei 26 Patienten eingesetzt. Hier wurden Gerüstkäppchen gleichmäßiger Schichtstärke verwendet. In der zweiten Gruppe, der Studiengruppe (Gruppe B) wurden ebenfalls 36 Kronen bei insgesamt 28 Patienten eingegliedert. Für die Studiengruppe wurden modifizierte Gerüstkäppchen hergestellt, die ein anatomisches Gerüstdesign verkörpern.

Der Beobachtungszeitraum belief sich auf zwei Jahre. Evaluationen wurden nach zwei Wochen, nach sechs und zwölf Monaten sowie abschließend nach 24 Monaten durchgeführt.

Besonderes Augenmerk bei den Nachuntersuchungen wurde auf Materialversagen der Verblendung, speziell auf die Chippingrate, gelegt. Parameter zur Evaluation der gingivalen und parodontalen Gesundheit wurden erhoben, der klinische Zustand von Zahn und Krone im Speziellen befundet und zudem noch Ästhetik und Funktion aus Sicht des Patienten und des Behandlers beurteilt [siehe Kapitel 3.4].

Die Studie wurde durch finanzielle Unterstützung sowie Bereitstellung von Geräten und Materialien der Firma DeguDent GmbH (Hanau) getragen. Zu den Vertragspartnern auf Seite der Charité- Universitätsmedizin Berlin gehörten Prof. Dr. W. Freesmeyer und Dr. L. Pishwa.

3.1 Konstruktionsprinzip des anatomischen Gerüstdesigns

Das Gerüstdesign für die Experimentalgruppe wurde von Dr. Pishwa (Berlin) entworfen. Das Prinzip des in dieser Studie angewendeten anatomischen Gerüstdesigns ist es, Scherspannungen, die durch okklusale Belastung in der Verblendkeramik entstehen, durch eine Gerüstunterstützung möglichst zu vermeiden. Durch die Umwandlung der Scherspannung in Druckspannung sollen Rissausbreitungen verhindert werden. Die Gerüstunterstützung der Verblendkeramik erfolgte im Bereich der Abhänge der tragenden Höcker und im Approximalbereich durch einen C-förmigen Ring (C-Ring nach Dr. Pishwa) und eine zusätzliche Gerüstverstärkung an den Höckern und im Randleistenbereich. Der C-Ring verstärkt hierbei das Gerüst an den bukkalen bzw. oralen Flächen der tragenden Höcker auf Höhe des anatomischen Äquators bis in den Approximalraum hinein. Ein weiterer spannungsreduzierender Effekt soll durch eine möglichst gleichmäßige Schichtstärke der Verblendkeramik erreicht werden.

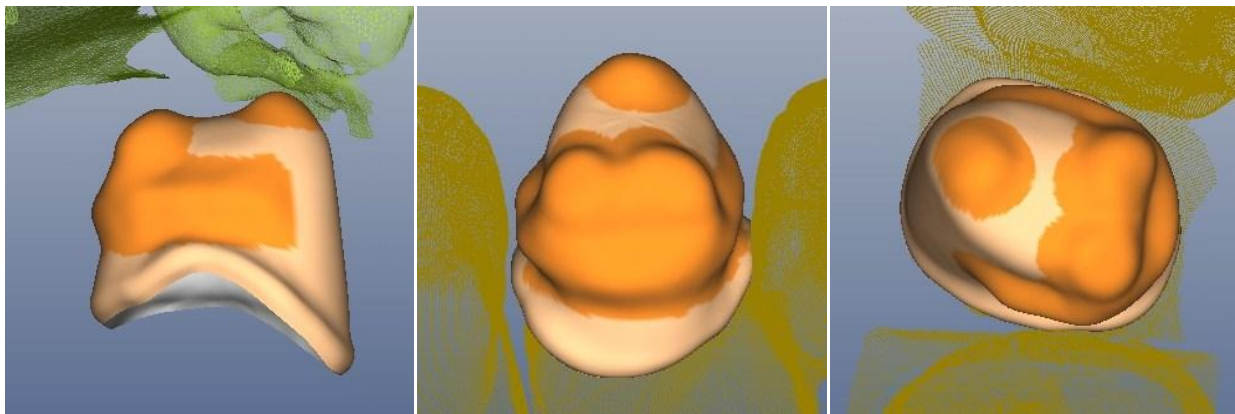


Abb. 1 Virtuell konstruiertes Gerüstköppchen mit anatomischem Gerüstdesign für Zahn 14. C-Ring und zusätzliche Gerüstverstärkungen sind orange hervorgehoben. [Fotos: Dr. Pishwa]

3.2 Patientengut

Aus dem Patientengut der Studentenkurse der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité- Universitätsmedizin Berlin wurden Patienten ausgewählt, bei denen die klinische Indikation für eine Therapie mit höchstens zwei Kronen im Seitenzahnbereich bestand. Zunächst wurden die 36 Kronen der Kontrollgruppe und im Anschluss die 36 Kronen der Studiengruppe angefertigt und eingegliedert. Entscheidend dafür, ob eine Krone mit oder ohne Gerüstmodifikation hergestellt wurde,

also welcher Gruppe sie angehört war somit der Zeitpunkt, an dem die Notwendigkeit der Kronenversorgung auftrat.

Ausschlusskriterien für die Patientenselektion:

- Patienten mit herausnehmbarem Zahnersatz
- Patienten mit fehlender natürlicher Gegenbezahnung
- Patienten ohne geeignete Kontrollzähne
- Personen mit starken dentalen Zeichen von Parafunktionen
- Patienten mit voraussichtlichem Wechsel des Wohnsitzes
- Personen unter 18 und über 60 Jahren
- Personen mit nicht ausreichender Compliance
- Schwangere Frauen, stillende Mütter
- Patienten mit einer systemischen Erkrankung
- Alkoholiker / Drogenabhängige
- Psychisch nicht stabile Personen
- Personen, die eine kieferorthopädische Behandlung planen oder ausführen lassen
- Zähne ohne abgeschlossenes Wurzelwachstum
- Zähne ohne Sensibilität und ohne Wurzelkanalbehandlung
- Zähne mit einer Wurzelkanalbehandlung, die jünger als 6 Monate ist
- Zähne mit Perkussionsempfindlichkeit
- Zähne mit radiologisch apikalem Befund
- Zähne mit einem Lockerungsgrad von I und mehr
- Zähne mit Taschen größer 5 mm
- Zähne mit Strukturveränderung wie z.B. eine Dentinogenesis Imperfecta

Alle Patienten wurden über die Behandlung und die Nachuntersuchungen im Rahmen der Studie von dem die Studenten betreuenden Zahnarzt aufgeklärt und erhielten diesbezüglich einen Informationsbogen. Sie gaben mit ihrer Unterschrift ihr Einverständnis zur Teilnahme an der klinischen Studie. Die Anfertigung der Kronen erfolgte für die Patienten kostenfrei.

3.3 Ablauf der klinischen Behandlung und der Laborarbeit

Die strikte Befolgung zahlreicher Ausschlusskriterien hatte einen vergleichsweise langen Zeitraum zwischen Versorgung des ersten Patienten bis zur Baseline-Untersuchung zu Folge.

Bei den Patienten der Gruppe A erfolgte die Behandlung von Mai 2005 bis Februar 2007 und bei der Gruppe B von Juli 2008 bis November 2009 in den Studentenkursen der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité-Universitätsmedizin Berlin (im Folgenden Abt. für Prothetik der Charité-Universitätsmedizin Berlin genannt). Die Studenten und alle Zahnärzte der Abt. für Prothetik der Charité- Universitätsmedizin Berlin wurden zu beiden Studiengruppen über die Verfahrensweise von einem Studienleiter aus der Abteilung, Dr. Pishwa, instruiert und koordiniert. Eine Bereitstellung von Geräten und Materialien erfolgte durch die Firma DeguDent GmbH (Hanau).

Vorbereitende Maßnahmen im Studentenkurs durch die behandelnden Studenten

Vor Beginn der Behandlung sollten Röntgenaufnahmen in Form von Einzelbildern vorliegen. Der klinische Gebisszustand sollte, wenn möglich, mit intraoralen Fotos festgehalten werden. Eventuelle parodontale oder chirurgische Vorbehandlungen waren abgeschlossen und eine professionelle Zahnreinigung erfolgte mindestens 14 Tage vor Beginn der prothetischen Versorgung.

Anhand des Untersuchungsbogens „Zustand vor Präparation“, erfolgte die Dokumentation des Ausgangszustandes des zu überkronenden und des Referenzzahnes bezüglich Taschentiefe (TT), Plaque-Index (PI nach Silness und Loe), Papillen-Blutungs-Index (PBI nach Saxer und Mühlemann), Sensibilität (Vit mittels CO₂-Schnee), Perkussion (Perk) und Lockerungsgrad (LG)

Eine Versorgungsabformung aus Silikon vor der Präparation erleichterte die spätere Herstellung eines Provisoriums. Das Provisorium aus Luxatemp (DMG, Hamburg) wurde später mit Temp-Bond NE (Kerr GmbH) provisorisch zementiert.

Präparation

Die behandelnden Studenten und behandelnden zahnärztlichen Kollegen wurden mündlich und per Merkblatt in folgenden Präparationsrichtlinien unterwiesen:

- ausgeprägte Hohlkehlpräparation (90°)
- zirkuläre marginale Schnitttiefe von mindestens 1 mm
- okklusale Reduktion der anatomischen Form um mindestens 1,5 mm
- Okklusalfächen im Winkel zwischen 120°-140°; Konuswinkel der korrespondierenden axialen Flächen 3°-4°
- auf die anatomische Kronenflucht war zu achten
- die Übergänge zwischen den axialen Wänden und der okklusalen Fläche sollten gerundet werden.

Vitale Zähne erhielten während der Behandlung eine lokale Anästhesie. Für die Hohlkehlpräparation wurden zylindrische, vor Kopf runde Diamantinstrumente (8881.314.012 oder 8881.314.016) und für die okklusale Reduktion rauteenförmige Diamantinstrumente (z.B. 8899.314.027) verwendet (alle Komet/Gebr. Brasseler GmbH, Lemgo). Das Finieren der Präparation erfolgte mit Schleifkörpern mittlerer Körnung von 30-45 µm. Von den präparierten Stümpfen wurden digitale Fotos angefertigt.

Abformung und Modellherstellung

Die Abformung erfolgte mit Doppelfaden- und Korrektur- oder Doppelmischtechnik. Es wurde ein Festwandlöffel (Rimlock) und das Silikon Provil (Putty/light, Heraerus Kulzer) als Abformmaterial oder das Polyethermaterial Impregum Penta Duo Soft (3M Espe Dental AG, Seefeld) benutzt. Die Gegenkieferabformung erfolgte mit Alginat, ein Wachsregistrat wurde als Hilfe zum Einartikulieren hergestellt. Ein Checkbiss aus einem Silikon (z.B. ebenfalls Provil) diente für den späteren Gegenbiss-Scan (Abb. 2). Es wurde ein Arbeitsmodell aus Superhartgips Typ 4 hergestellt und im Anschluss mit dem Gegenkiefer mittelwertig einartikuliert. Im Anschluss definierte der behandelnde Student die Präparationsgrenze am fertigen Arbeitsmodell.



Abb. 2 Checkbiss für Gegenbiss-Scan [Foto: Dr. Pishwa]

CAD/CAM-Gerüsterstellung

Gruppe A: Die Gerüstköppchen der Gruppe A wurden in dem Competence Center DeguDent GmbH des Dentallabors Rübeling & Klar, Berlin (R&K) hergestellt. Die ersten 15 Gerüstköppchen aus dieser Gruppe wurden nach einem Kopierfräsverfahren (reines CAM-Verfahren) gefertigt. Hierbei werden die Gerüstköppchen auf dem Arbeitsmodell in Wachs modelliert. Diese Modellationen erhalten durch Pinselauftrag einen Scanpulver und werden anschließend in der Gerätekomponente Cercon® brain (28) mittels eines Lasers optisch abgetastet. Hierdurch gewinnt die ebenfalls in Cercon® brain integrierte CAM-gestützte 3-achsige Fräseinheit die formgebenden Daten. Der Fräsvorgang erfolgt in zwei Stufen. Während in einem ersten „Schubbprozess“ die Grobform herausgearbeitet wird, erfolgt in einem zweiten Schritt die Feinausarbeitung des Gerüsts (90). Aufgrund der damaligen Weiterentwicklung des Herstellungsprozesses für Cercon®-Kronen wurden die Daten für die weiteren 21 Gerüstköppchen der Gruppe A nach einem CAD/CAM-Verfahren erstellt. Der im Gerät vorhandene Laser wird genutzt, um direkt vom Arbeitsmodell die Originalstümpfe abzutasten. Die Geometrie wird hier durch sogenannte Triangulation erfasst. Die eingelesenen Daten werden von einem externen Computer übernommen und der Techniker kann nun mithilfe der Software Cercon® art V 2.2 (DeguDent, Hanau) das Gerüstköppchen konstruieren. Der Fräsvorgang wird auch hier wieder von der Gerätekomponente Cercon® brain übernommen, die dem Dentallabor Rübeling & Klar von der Firma DeguDent, Hanau, zur Verfügung gestellt wurde. Als Werkstoff diente Cercon® base (DeguDent, Hanau), ein Rohling aus vorgesintertem Y-TZP-A (Tab. 2) mit einem Anteil von 5% Yttriumoxid und einem Zusatz von 0,25% Aluminiumoxid (30). Für Kronen, für die eine Zahnfarbe dunkler als A2 bestimmt worden ist, wurde das eingefärbte Gerüstmaterial Cercon®

base colored benutzt (30). Es weist die gleiche Festigkeit auf wie die rein weiße Variante. Das gefräste Gerüstköppchen wird in einem thermischen Prozess in einem Sinterofen, der Gerätekomponente Cercon® heat (29), bei einer Endtemperatur von 1.350 °C dicht gesintert. Der gesamte Sinterprozess dauert ca. 6 Stunden. Da der Sintervorgang mit einer Volumenschrumpfung des gefrästen Werkstückes verbunden ist, wird das Gerüst in einer um ca. 30% vergrößerten Form aus dem Rohling gefräst (90).

Bei der Gerüstgestaltung der Gruppe A (sowohl bei den Wachsmodellationen wie bei der CAD-gestützten Gestaltung) lag das Augenmerk einzig in der Mindestwandstärke der Zirkonoxidgerüste von 0,4 mm. Dadurch ergaben sich Gerüstköppchen gleichmäßiger Schichtstärke. Auf die dadurch resultierende Schichtstärke der Verblendkeramik wurde keine Rücksicht genommen, sondern eine eventuelle Überdimensionierung in Kauf genommen.

Gruppe B: Alle Gerüstköppchen aus der Gruppe B wurden per CAD/CAM-Verfahren erstellt. Für die Datenerfassung wurde dem Hauslabor der Abteilung für Prothetik der Charité- Universitätsmedizin Berlin unter der Leitung von ZTM Hetzelberger (Hauslabor) ein externes Scan-Modul, Cercon® eye (27), der Firma DeguDent zur Verfügung gestellt. Der Scansvorgang erfolgt hier durch Laserprojektion in Verbindung mit zwei stereoskopisch angeordneten Kameras in mehreren Schritten. Auf alle Oberflächen der zu scannenden Strukturen wird das Scanspray (Cercon® eye Scanspray) aufgetragen. Das Sägeschnittmodell wird fest in den Modelltisch platziert und zunächst wird nur der präparierte Einzelstumpf aufgesetzt und eingescannt. Anschließend wird dieser wieder entnommen und die Segmente mit den Nachbarzähnen werden auf das Modell gesetzt und eingelesen. Als letztes wird der Silikon-Checkbiss auf die Zahnreihe gesetzt und die Impressionen der Antagonisten werden gescannt. (Abb. 3). Eine dritte Kamera bestimmt über drei Erkennungspunkte am Modelltisch die Lage der eingescannten Strukturen zueinander. Durch diese Triangulation errechnet das CAD-Programm die Geometrie der gescannten Strukturen und stellt diese zur weiteren virtuellen Konstruktion zur Verfügung.



Abb. 3 die zu scannenden Strukturen werden mit dem Scanspray benetzt. Während die einzelnen Segmente eingelesen werden bleibt das Modell fest auf dem Modelltisch fixiert. [Fotos: Dr. Pishwa]

Die Datenübertragung in einen externen Computer ermöglichte anschließend wieder die virtuelle Konstruktion der Gerüstkäppchen mithilfe der Software Cercon® art V 2.2. Durch gezielte Modifikationen in der Gerüststärke wurde ein anatomisches Design angestrebt. Das Gerüstkäppchen wurde virtuell durch okklusale Verstärkung höcker- und randleistenunterstützend modelliert (Abb.4). Zusätzlich erhielten tragende Höcker an den bukkalen bzw. oralen Flächen auf Höhe des anatomischen Äquators bis in den Approximalraum hinein eine Verstärkung durch einen C-förmigen Ring (C-Ring) (nach Dr. Pishwa) (Abb. 1 und Abb. 5). Durch das Einscannen der Nachbarzähne und des Checkbisses konnte hierbei auf den minimalen Platzbedarf für die Verblendung (okklusal 1 mm, zervikal 0,4 mm) Rücksicht genommen werden. Die Daten für die fertig modellierten Käppchen wurden gespeichert und anschließend digital an die DeguDent GmbH übermittelt. Die frästechnische Umsetzung und der Sinterprozess erfolgten in der dortigen zentralen Fertigungseinheit Compartis und in dem Sinterofen Cercon® heat. Auch hier wurde als Gerüstwerkstoff Cercon® base bzw. Cercon® base colored verwendet. Die fertigen Gerüstkäppchen wurden anschließend zurück gesendet.

Technische Daten:	
WAK:	10,5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ (25-500 °C)
Farbe:	weiß oder elfenbein
Biegefestigkeit:	Ca. 900 MPa
Elastizitätsmodul:	210 Gpa
Zusätze zu Zirkonoxid:	
Yttriumoxid	5%
Hafniumoxid	<2%
Siliciumoxid	<1%
Aluminiumoxid	0,25%

Tabelle 2 Technische Angaben zu dem Gerüstwerkstoff Cercon® base bzw. Cercon® base colored im dicht gesinterten Zustand.

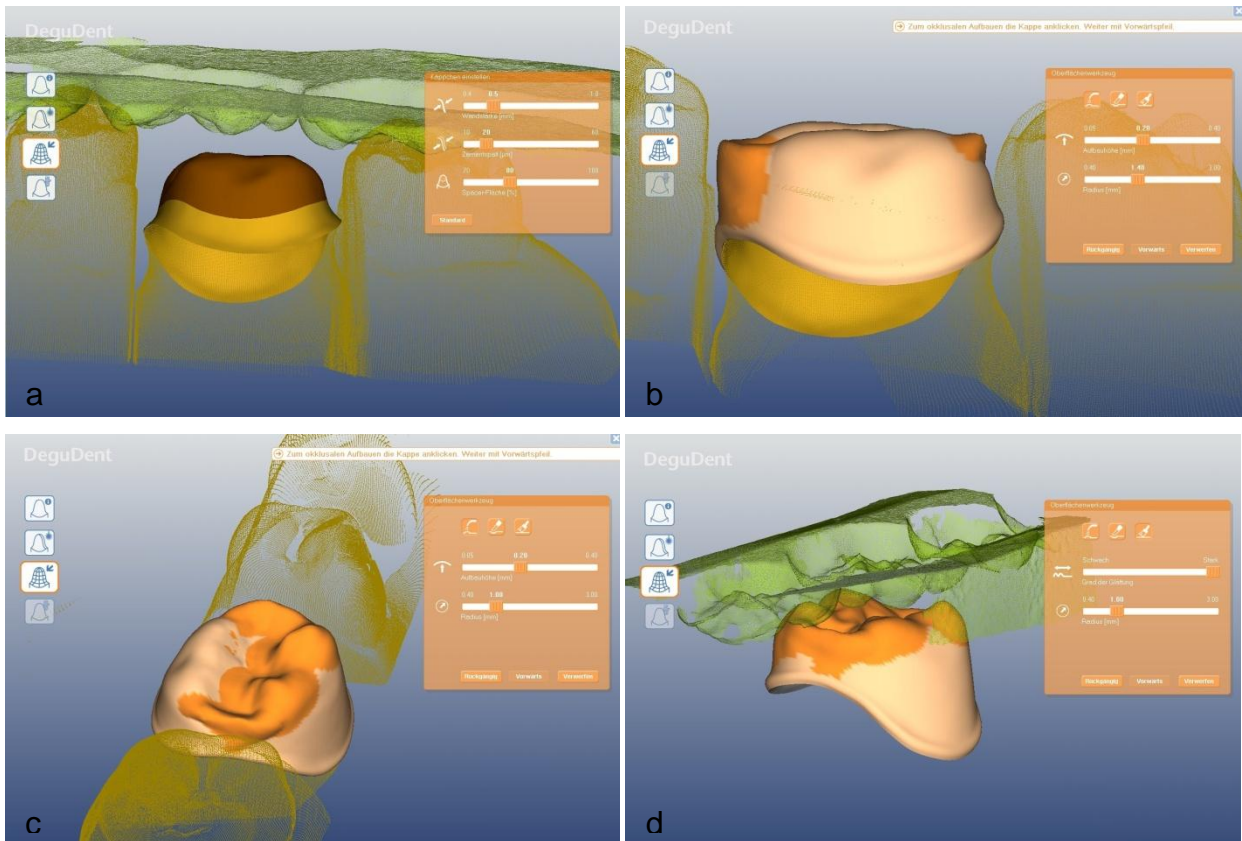


Abb. 4 a-d virtuelle Konstruktion eines anatomischen Gerüstdesigns. **a** die Software Cercon® art V 2.2 stellt den eingescannten Stumpf und die Nachbarzähne sowie Antagonisten dar. **b-d** ein Gerüstköppchen gleichmäßiger Schichtstärke wird Schritt für Schritt okklusal im Bereich der Randleisten und der Höcker verstärkt. Zur Kontrolle des Platzangebotes für die Verblendung, lassen sich Nachbarstrukturen ein- und ausblenden [Fotos: Dr. Pishwa]

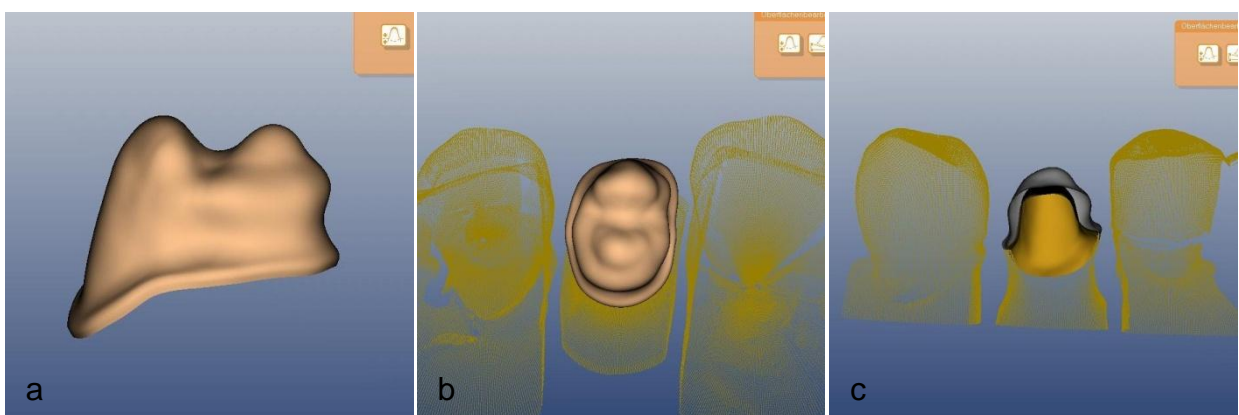


Abb. 5 a-c fertig konstruiertes Gerüstköppchen 24 mit anatomischem Design und oralem C-Ring (nach Dr. Pishwa) **a** von mesial. **b** von okklusal. **c** hier wird die Schichtstärke des Gerüsts deutlich [Fotos: Dr. Pishwa]

Gerüsteinprobe

Die fertig gefrästen Gerüstköppchen wurden im Dentallabor R&K (Gruppe A) bzw. im Hauslabor (Gruppe B) auf die Modelle zurückgesetzt und auf Passung und Randspalt kontrolliert (Abb. 6 a). Die klinische Gerüsteinprobe erfolgte anschließend wiederum im Studentenkurs. Die Gerüstköppchen wurden mit Silikon (Xantopren L blue, Fa. Heraeus-Kulzer, Dormagen) unterschichtet, um Klemmstellen an der Innenseite darzustellen (Abb. 6 b). Um Spannungen oder (Mikro-) Risse im Gerüst zu vermeiden, erfolgte das Einschleifen sowohl im Dentallabor (R&K) wie auch im Studentenkurs ausschließlich mit feinen Diamanten (Körnung 46 µm) und immer unter Wasserkühlung (Abb. 6 c). Diese beiden Abläufe wurden wiederholt, bis eine gleichmäßig dünne Silikonschicht vorhanden war. Angaben über die Passung, den Randübergang, die anatomische Gerüstform sowie weitere Vermerke wurden von den jeweiligen behandelnden Studenten in dem Befundbogen „Gerüsteinprobe“ festgehalten.

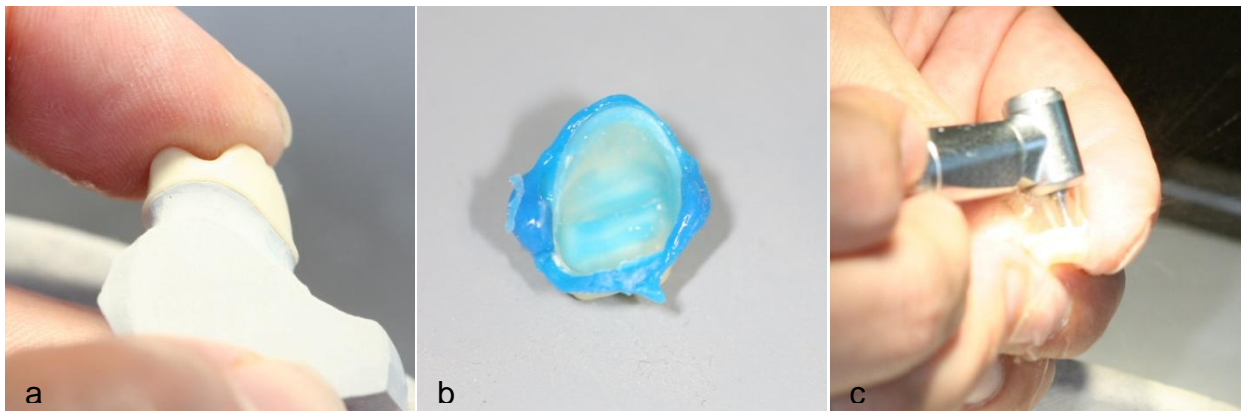


Abb. 6 a-c **a** Kontrolle des Randspaltes auf dem Modell. **b** Silikonunterschichtung mit kleinen Aussparungen, zervikal. Hier ist kein genügender Platz für den Zement und es könnte eine Klemmspannung resultieren. **c** Korrektur mit rotierenden Diamanten unter Wasserkühlung. [Fotos: Dr. Pishwa]

Herstellung der Verblendung

Die Gerüstoberfläche wurde nur im Falle vorhandener scharfkantiger Ecken und Kanten zuvor überarbeitet und diese mit einem Diamanten (8368.314.016 Komet/Gebr. Brasseler GmbH, Lemgo) unter Wasserkühlung gerundet. Mit Aluminiumoxid der Körnung 110-125 µm wurden die Gerüstköppchen unter 3 - 3,5 bar abgestrahlt und anschließend mittels Dampfstrahler gereinigt. Die keramische Verblendung der Gerüstköppchen erfolgte im Dentallabor R&K (Gruppe A) bzw. im Hauslabor (Gruppe B)

nach Herstellerangaben (31). Die Verblendkeramik Cercon® ceram kiss (DeguDent GmbH, Hanau) kam hier in beiden Gruppen zum Einsatz.

Eingliederung

Die fertigen Kronen wurden im Studentenkurs einprobiert. Es erfolgte eine weitere Silikonunterschichtung (Xantopren L blue, Fa. Heraeus-Kulzer, Dormagen), eine Kontrolle der marginalen Passung, sowie die Überprüfung der approximalen Kontaktpunkte mit Zahnseide und der Okklusion (rotes und blaues Okklusionspapier, Shimstockfolie). Die Kronen wurden anschließend mit Zinkoxid-Phosphatzement Harvard®schnellhärtend (Harvard Dental, Berlin) oder dem selbstadhäsiven Komposit-Befestigungszement RelyX™ Unicem (3M ESPE, Seefeld) eingegliedert. Bei einer Patientin wurden zwei Kronen mit Ketac™ Cem (3M ESPE, Seefeld) befestigt. Waren nach dem Zementieren Korrekturen der statischen und dynamischen Okklusion nötig, wurde mit Wasserkühlung eingeschliffen und poliert. Den behandelnden Studenten wurde das DIALITE II Keramik-Polierset 4313 A (Komet/Gebr. Brasseler GmbH, Lemgo) zur Verfügung gestellt.

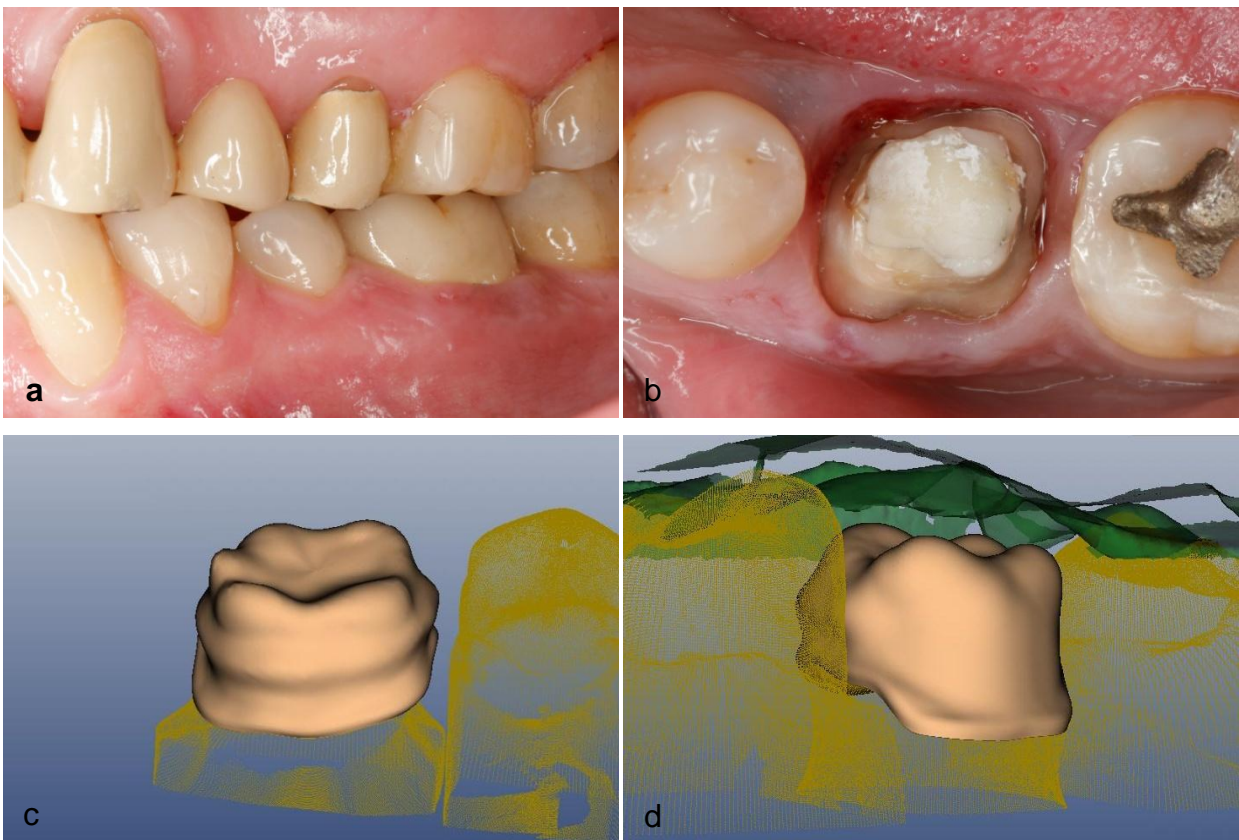




Abb. 7 a-j Herstellung einer Cercon®-Krone nach dem Prinzip des anatomischen Gerüstdesigns. **a** Ausgangssituation Zahn 36 mit insuffizienter VMK (Karies lingual subgingival). **b** Präparierter Zahnstumpf. **c und d** Virtuelles Gerüstköppchen von lingual und mesiobuccal mit eingeblendeten Nachbarstrukturen zur Überprüfung des Platzbedarfs für die Verblendung. **e-g** Gerüstköppchen von lingual, vestibulär und okklusal bei der Gerüsteinprobe. **h-j** fertige, eingegliederte Cercon®-Krone von lingual, vestibulär und okklusal. [Fotos: Dr. Pishwa]

3.4 Nachuntersuchung

Die Nachuntersuchungen fanden in den ungefähren Zeitabständen von zwei Wochen (Baseline), sechs Monaten, einem Jahr und zwei Jahren nach der Eingliederung in den Räumen der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre, der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité- Universitätsmedizin Berlin (nachfolgend die Zahnklinik der Charité genannt) statt. Neben der Verfasserin dieser Dissertation haben noch zwei weitere kalibrierte Zahnärzte die Nachuntersuchungen durchgeführt. Bei jeder Nachuntersuchung waren aber nur ein Zahnarzt und ein Zahnarzthelfer beteiligt. Für die Einzelfallbeurteilungen stand ein Nachuntersuchungsbogen zur Verfügung, der von dem nachuntersuchenden Zahnarzt auszufüllen war. Einzelheiten zu den Untersuchungsmethoden und Bewertungskriterien der nachuntersuchten Parameter sind den Tabellen 3 bis 11 zu entnehmen. Für die Bewertung bestimmter Untersuchungsparameter wurden die von Ryge und Snyder 1973 genannten USPHS-Kriterien (93) modifiziert und herangezogen. Generell steht „Alpha“ hierbei für einen exzellenten und „Bravo“ für einen klinisch akzeptablen Zustand. Der Bewertungsgrad „Charlie“ bedeutet, dass eine Erneuerung der Restauration aus präventiven Gründen erforderlich ist, während „Delta“ für die Notwendigkeit der sofortigen Erneuerung wegen bereits eingetretener Schäden an Nachbarstrukturen steht. Musste eine Krone erneuert werden, so wurde sie als absoluter Misserfolg gewertet. Der Patient erhielt eine neue Krone, die aber nicht Bestandteil der Studie war. Weitere Nachuntersuchungen an dieser Krone wurden nicht vorgenommen.

Bei den Nachuntersuchungen wurden außerdem noch neu entstandene Abplatzungen, Frakturen, Sprünge oder Risse fotografisch festgehalten

Untersuchungskriterium	Untersuchungsmethode	Bewertungskriterien
Plaqueindex PI	taktil u. visuell	0-3 nach Silness u. Loe
Papillenblutungsindex PBI	taktil u. visuell	0-4 nach Saxer u. Muehleemann
Sensibilität	CO ₂ -Schnee/Wattekugel	0=negativ 1=positiv
Perkussion	klopfen/Aussage d. Patienten	modif. USPHS-Kriterien
Lockerung	taktil u. visuell	0-III
Statische Okklusion	Artikulationsfolie u. visuell	modif. USPHS-Kriterien
Dynamische Okklusion	Artikulationsfolie u. visuell	modif. USPHS-Kriterien
Lage der Restaurationsgrenze	visuell	1=supra-, 2=äqui-, 3=subgingival
Randspalt/Randübergang	taktil u. visuell	modif. USPHS-Kriterien
Sekundärkaries	taktil u. visuell ggf. Röntgen	modif. USPHS-Kriterien
Sprünge, Risse	visuell	modif. USPHS-Kriterien
Verblendfrakturen	visuell	modif. USPHS-Kriterien
Gerüstfrakturen	visuell	0=intakt 1=frakturiert
Sensibilität nach dem Einsetzen	Befragen des Patienten	0=unauffällig 1=aktuell noch überempfl. 2= war überempfl. jetzt unauffällig
Approximalkontakt	Zahnseide	modif. USPHS-Kriterien
Sondierungstiefen	PA-Sonde	Angaben in mm
Beurteilung der Funktion durch den Patienten**	Befragen d. Patienten	Skala von 0=schlecht bis 10=perfekt
Beurteilung der Ästhetik durch den Patienten**	Befragen d. Patienten	Skala von 0=schlecht bis 10=perfekt
Beurteilung der Funktion durch den ZA**	Einschätzen durch Zahnarzt	Skala von 0=schlecht bis 10=perfekt
Beurteilung der Ästhetik durch ZA**	Einschätzen durch Zahnarzt	Skala von 0=schlecht bis 10=perfekt

Tabelle 3 Untersuchungsparameter mit Untersuchungsmethoden und Bewertungskriterien. * = Die Bewertung der anatomischen Form wurde nur zur Baseline-Untersuchung vorgenommen. ** = Die Beurteilungen von Ästhetik und Funktion von Patient und Zahnarzt fanden zu jeder NU und zwar jeweils vor eventuellen Rekonturierungsmaßnahmen statt.

Der Bewertungsschlüssel der modifizierten USPHS-Kriterien für die einzelnen Untersuchungskriterien ist im Folgenden angegeben (Tab.4 bis 10).

Alpha	Die Okklusionskontakte in Schlussbissstellung stabilisieren den Zahn und sind punktförmig.
Bravo	Die vorliegende Kontaktsituation ist akzeptabel, wenn möglich wird das Risiko künftiger Schäden durch Einschleifen vermindert.
Charlie	Die Krone steht in Infraokklusion oder nach dem Rekonturieren liegt das Gerüst frei und wurde in der Stabilität geschwächt. Eine Erneuerung der Krone wird in Betracht gezogen, um einen Schaden für das stomatognathe System oder einer Kronenfraktur vorzubeugen.
Delta	Eine sofortige Erneuerung der Krone ist notwendig, weil fehlende Okklusionskontakte zu Schäden des stomatognathen Systems geführt haben oder eine Rekonturierung zur Perforation der Krone führte.

Tabelle 4 Bewertungsschlüssel der statischen Okklusion

Alpha	Bei exzentrischen Bewegungen steht der Zahn nicht in Kontakt oder wird physiologisch belastet (z.B. bei auch zuvor vorhandener Gruppenführung)
Bravo	Die vorliegende Kontaktsituation ist akzeptabel, wenn möglich wird das Risiko künftiger Schäden durch Einschleifen vermindert.
Charlie	Durch drastisches Einschleifen störender dynamischer Okklusionskontakte wurde das Gerüst freigelegt oder eventuell derart geschwächt, dass eine Kronenerneuerung angezeigt ist, um einer Fraktur vorzubeugen oder weil die Ästhetik stark beeinträchtigt wurde.
Delta	Eine sofortige Erneuerung der Krone ist notwendig, weil störende dynamische Okklusionskontakte zu Schäden des stomatognathen Systems geführt haben oder eine Rekonturierung zur Perforation der Krone führte.

Tabelle 5 Bewertungsschlüssel der dynamischen Okklusion

Alpha	Die Kronenrandsituation ist klinisch einwandfrei, es ist mit der Sonde kein Randspalt sondierbar.
Bravo	Die Kronenrandsituation ist klinisch akzeptabel. Es besteht ein nicht ganz harmonischer Randübergang, eine Über- oder Unterkonturierung der Krone, die mit der spitzen Sonde tastbar sind, die Mundhygiene und die Ästhetik aber nicht gravierend negativ beeinflussen.
Charlie	Deutliche Über- oder Unterkonturierungen der Krone, ein für den Patienten nicht zu reinigender Randspalt oder freiliegende Zahnhartsubstanz erfordern eine präventive Erneuerung der Restauration.
Delta	Wegen ungenügender marginaler Integrität sind Schäden am Zahn entstanden, die eine sofortige Erneuerung der Restauration erfordern oder die Krone ist wegen Retentionsverlust verlorengegangen.

Tabelle 6 Bewertungsschlüssel für Randspalt/Randübergang

Alpha	Es ist klinisch keine Sekundärkaries zu befunden.
Bravo	Eine initiale Karies, die durch Fluoridierungsmaßnahmen kontrolliert werden kann, oder minimale Kariesläsionen, die direkt am Kronenrand behandelt werden können
Charlie	Kariesläsionen, für deren Behandlung die Entfernung und Neuanfertigung der Krone sinnvoll erscheint.
Delta	Eine Erneuerung der Versorgung ist unumgänglich oder die Krone ist aufgrund von Sekundärkaries verloren gegangen.

Tabelle 7 Bewertungsschlüssel für Sekundärkaries

Alpha	Es sind klinisch keine Sprünge oder Risse zu erkennen.
Bravo	Vorhandene Sprünge oder Risse sind zu erahnen, jedoch nicht sicher festzustellen.
Charlie	Vorhandene Sprünge oder Risse gefährden die Integrität der Restauration, daher ist eine Neuanfertigung empfehlenswert.
Delta	Vorhandene Sprünge oder Risse erfordern eine sofortige Neuanfertigung der Krone.

Tabelle 8 Bewertungsschlüssel für Sprünge/Risse

Alpha	Es sind klinisch keine Abplatzungen zu erkennen.
Bravo	Vorhandene Abplatzungen sind sehr kleinen Ausmaßes und können durch Politur behandelt werden. Es besteht keine funktionelle Beeinträchtigung*.
Charlie	Die Abplatzungen verursachen eine problematische Situation für die Mundhygiene oder das Ausmaß vorhandener Abplatzungen und deren funktionelle Beeinträchtigung ist derart, dass eine Neuanfertigung der Restauration aus präventiven Gründen angeraten ist.
Delta	Es besteht eine Abplatzung, die aufgrund von ästhetischer Einbuße oder funktionellen Störungen eine sofortige Neuanfertigung der Restauration erfordert.

Tabelle 9 Bewertungsschlüssel für Verblendfrakturen *zu funktionellen Beeinträchtigungen, die nicht mehr als klinisch akzeptabel angesehen, also nicht mehr mit „Bravo“ bewertet werden können, zählen der durch die Fraktur eingetretene Verlust der statischen Okklusion oder des approximalen Kontaktpunktes oder Räume, in denen eingeklemmte Speisereste verbleiben können (6)

Alpha	Der Approximalkontakt/die Approximalkontakte sind klinisch einwandfrei, die Zahnseide rutscht nach anfänglichem Widerstand hörbar über den Kontaktbereich.
Bravo	Der/ein Approximalkontakt/die Approximalkontakte sind etwas zu schwach oder zu stark, jedoch mit Zahnseide zu tasten bzw. gängig und als klinisch akzeptabel einzustufen.
Charlie	Der Approximalkontakt/die Approximalkontakte sind nicht akzeptabel. Um künftigen Schäden vorzubeugen ist eine Neuanfertigung der Krone angebracht.
Delta	Wegen ungenügender Approximalkontakte muss eine sofortige Neuanfertigung der Krone erfolgen.

Tabelle 10 Bewertungsschlüssel für die Approximalkontakte

3.5 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde die Kaplan-Meier-Schätzung durchgeführt (51). Die Kaplan-Meier-Schätzung dient zur Überlebenszeitanalyse und wird bei Studien angewendet, bei denen zu unterschiedlichen Zeitpunkten Ereignisse eintreten. Außerdem werden unterschiedlich lange Beobachtungszeiträume mit eingerechnet, sodass auch die Patienten, die, ohne Eintreten des zu beobachtenden Ereignisses aus der Studie ausgefallen sind (Drop Outs), für den Zeitraum, in dem sie unter Beobachtung standen, für die Überlebensschätzung Daten liefern. Mithilfe des Logranktests und dem χ^2 -Wert wurden die Unterschiede in den Überlebensraten bzw. geschätzten Raten für die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt, auf Signifikanz überprüft. Das Signifikanzniveau (Alpha) wurde bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ($\alpha = 0,05$) festgelegt. Wenn der p -Wert kleiner gleich Alpha ist, also $p \leq \alpha$, dann sind die Unterschiede als signifikant zu betrachten und die Nullhypothese, auf die geprüft wurde, muss verworfen werden. Ist $p \leq 0,01$ werden die Unterschiede als hochsignifikant angesehen.

4 Ergebnisse

Als Erfolg werden alle Kronen angesehen, die nach den zwei Jahren bei allen Untersuchungsparametern mit „Alpha“ bewertet wurden. Die Kronen wurden auch dann als Erfolg angesehen, wenn sie bei der Baseline-Nachuntersuchung wegen okklusaler Auffälligkeiten noch mit „Bravo“ bewertet wurden und Rekonturierungsmaßnahmen nötig waren, sofern im Folgenden die statische und dynamische Okklusion einwandfrei war und sich auch zur Abschluss-Nachuntersuchung nach zwei Jahren keine weiteren Mängel daraus ergaben. Gleiches gilt für den Fall des zu Beginn etwas strammen oder etwas schwachen approximalen Kontaktpunktes, der nach zwei Jahren mit „Alpha“ bewertet wurde oder einer anfänglichen Hypersensibilität, die sich ohne weitere eingreifende Maßnahmen normalisierte.

Zu den relativen Misserfolgen zählen alle Kronen, die nach zwei Jahren als schlechteste Bewertung gegebenenfalls auch bei mehreren Untersuchungsparametern „Bravo“ erhalten haben. Sie gelten als nicht exzellent, jedoch klinisch akzeptabel.

Zu den absoluten Misserfolgen zählen alle Kronen, bei denen innerhalb der zwei Jahre eine Bewertung mit „Charlie“ oder „Delta“ erfolgte oder bei denen ein anderes Ereignis auftrat, das eine Entfernung bzw. Neuanfertigung erforderlich machte.

4.1 Erhobene klinische Daten der Gruppe A

In der Gruppe A wurden 36 Seitenzahnkronen bei 26 Patienten eingegliedert. Unter den eingegliederten Kronen waren 18 für Prämolaren und 18 für Molaren. Bei den präoperativen Untersuchungen ergab sich 22 Mal der Befund vitaler Zahn. Zur Baseline-Nachuntersuchung nach etwa zwei Wochen sind alle Patienten erschienen. Nach drei Monaten teilte ein Patient telefonisch einen Materialschaden an der Krone mit. Die Nachuntersuchung fand sofort statt. Die Krone wurde als absoluter Misserfolg bewertet und nahm nicht mehr an nachfolgenden Nachuntersuchungen teil. Nach einem halben Jahr konnten bei 22 Patienten 31 Kronen beurteilt werden. Bei einer Patientin wurde neben einem Chipping der Kategorie „Bravo“ eine akute Pulpitis diagnostiziert. Die Krone musste trepaniert werden und wurde ebenfalls aus der weiteren Evaluation ausgeschlossen. Eine der 22 Patienten stellte sich nach einem halben Jahr mit Retentionsverlust der Krone vor. Die Krone wurde rezementiert und die Nachuntersuchungsdaten wurden erhoben. Ca. neun Monate nach Eingliederung

meldete sich ein Patient und teilte mit, dass der bukkale Teil der Krone abgebrochen sei. Die Evaluation erfolgte umgehend. Die Krone wurde als absoluter Misserfolg eingestuft und erneuert. Zur Kontrolle nach einem Jahr konnten 14 Kronen bei 11 Patienten nachuntersucht werden. Hier kam es ein weiteres Mal wegen einer Verblendfraktur zu der Bewertung absoluter Misserfolg. Zur Abschlusskontrolle nach zwei Jahren kamen 22 Patienten mit 29 Kronen. Von den 29 Kronen, wurde bei drei weiteren ein absoluter Misserfolg aufgrund von Materialversagen festgestellt. Ein Zahn mit einer vom Material her einwandfreien Krone zeigte einen Vitalitätsverlust und eine Perkussionsempfindlichkeit.

Von den 36 eingesetzten Kronen wurden also innerhalb von zwei Jahren sechs wegen Materialversagen als absoluter Misserfolg bewertet. Zwei weitere klinische absolute Misserfolge traten durch die Notwendigkeit einer Wurzelkanalbehandlung auf. Zwei Patienten mit insgesamt drei Kronen konnten nur bis zum sechs-Monats- bzw. ein-Jahres-Termin für die Nachuntersuchungen motiviert werden, was zu Zensuren in der statistischen Auswertung geführt hat. Eine Übersicht über die Teilnahme an den Nachuntersuchungen ist in Tabelle 11 dargestellt.

	Baseline	1/2 Jahr	1 Jahr	2 Jahre
An der NU teilgenommen (davon neu als abs. Misserfolg bewertet)	36 (-)	31 (1)	14 (1)	29 (4)
Bei vorangegangenen NU oder zwischenzeitlich als absoluter Misserfolg bewertet und daher keine Teilnahme mehr	-	1	3	4
Zur NU nicht erschienen	-	4	19	3

Tabelle 11 Übersicht über die Teilnahme an den Nachuntersuchungen für Gruppe A

Plaquesindex, Papillenblutungsindex und Sondierungstiefen

Bei einem Patienten verschlechterten sich PI, PBI und auch der parodontale Zustand, sodass sich Sondierungstiefen bis zu 6 mm mit spontaner Blutung nach Sondierung fanden. Diese Veränderung zeigte sich jedoch ebenso am Referenzzahn. Dem Patienten wurde zu einer Parodontaltherapie geraten. Bei allen anderen Patienten schwankten oder veränderten sich PI, PBI und die Sondierungstiefen über den Zeitraum von zwei Jahren nur sehr geringfügig. Bei keinem der anderen Patienten wiesen die überkronten Zähne oder die Referenzzähne gingivale oder parodontale Schäden auf.

Sensibilität und Perkussion

Bei drei der 22 vitalen Zähne kam es kurz nach Eingliederung zu einer Überempfindlichkeitsreaktion. Einmal war der Befund auf ein Okklusionstrauma zurückzuführen und die Sensibilität normalisierte sich nach der Korrektur der Okklusion wieder, die beiden anderen Zähne entwickelten im weiteren Verlauf eine irreversible Pulpitis bzw. reagierten nicht mehr vital, sodass eine Wurzelkanalbehandlung eingeleitet wurde. Eine Krone wurde nach der sechs-Monats-Nachuntersuchung trepaniert und kann so nur bis zu diesem Zeitpunkt in die Statistik über Verblendfrakturen aufgenommen werden. Bei einer anderen Krone wurde die Notwendigkeit der Wurzelkanalbehandlung erst bei der zwei-Jahres-Nachuntersuchung festgestellt, sodass sie in die Statistik über Verblendfrakturen mit einbezogen wurde.

Lockerungsgrad

Keiner der Zähne entwickelte während der zwei Jahre einen Lockerungsgrad.

Approximalkontakt

Ein anfänglich zu starker Approximalkontakt hatte sich so verändert, dass er ab der sechs-Monats-Nachuntersuchung mit „Alpha“ bewertet wurde. Nach zwei Jahren wurde noch eine Krone mit „Bravo“ bewertet, weil der mesiale Kontaktbereich sehr flächig gestaltet war.

Okklusion

Bei einem Patienten befanden sich beide Kronen in leichter Infraokklusion, sodass die statische Okklusion zur Baseline-Nachuntersuchung schwächer erschien als bei den Nachbarzähnen. Für beide Zähne erfolgte die Bewertung „Bravo“. Bei folgenden Nachuntersuchungen wurde die Okklusion als gleichstark und mit „Alpha“ beurteilt. Bei den Baseline-Nachuntersuchungen mussten einmal die statische Okklusion und 11-mal die dynamische Okklusion korrigiert werden. Nach zwei Jahren wurden alle Kronen bezüglich statischer und dynamischer Okklusion mit „Alpha“ bewertet.

Randspalt/Randübergang

Bezüglich des Randspaltes/-übergangs kam es bei vier Kronen zu Abwertungen, die jeweils mit „Bravo“ bewertet wurden. (siehe Tabelle 13)

Verblendfraktur/ Gerüstfraktur

Nach zwei Jahren waren an zehn Zähnen zwölf Verblendfrakturen festgestellt worden. Davon zählten zehn zu Chippings und zwei zu Abplatzungen mit Gerüstfreilegung. Von den zehn Chippings wurden sechs mit „Bravo“, zwei mit „Charlie“ und zwei mit „Delta“ bewertet. Die Frakturflächen der mit „Bravo“ bewerteten Chippings wurden unter Wasserkühlung poliert und die Kronen in situ belassen. Die Kronen, die mit „Charlie“ oder „Delta“ bewertet wurden, galten als erneuerungsbedürftig und zählten innerhalb der Studie als absoluter Misserfolg. Die zwei Verblendfrakturen mit Gerüstfreilegung lagen nicht im ästhetisch beeinträchtigenden Bereich, jedoch stellten sie eine funktionelle Einbuße dar und wurden oralhygienisch als kritisch betrachtet. Sie wurden beide mit „Charlie“ bewertet und die Kronen wurden erneuert. Es zeigten sich keine Sprünge oder Risse und es kam zu keiner Gerüstfraktur.

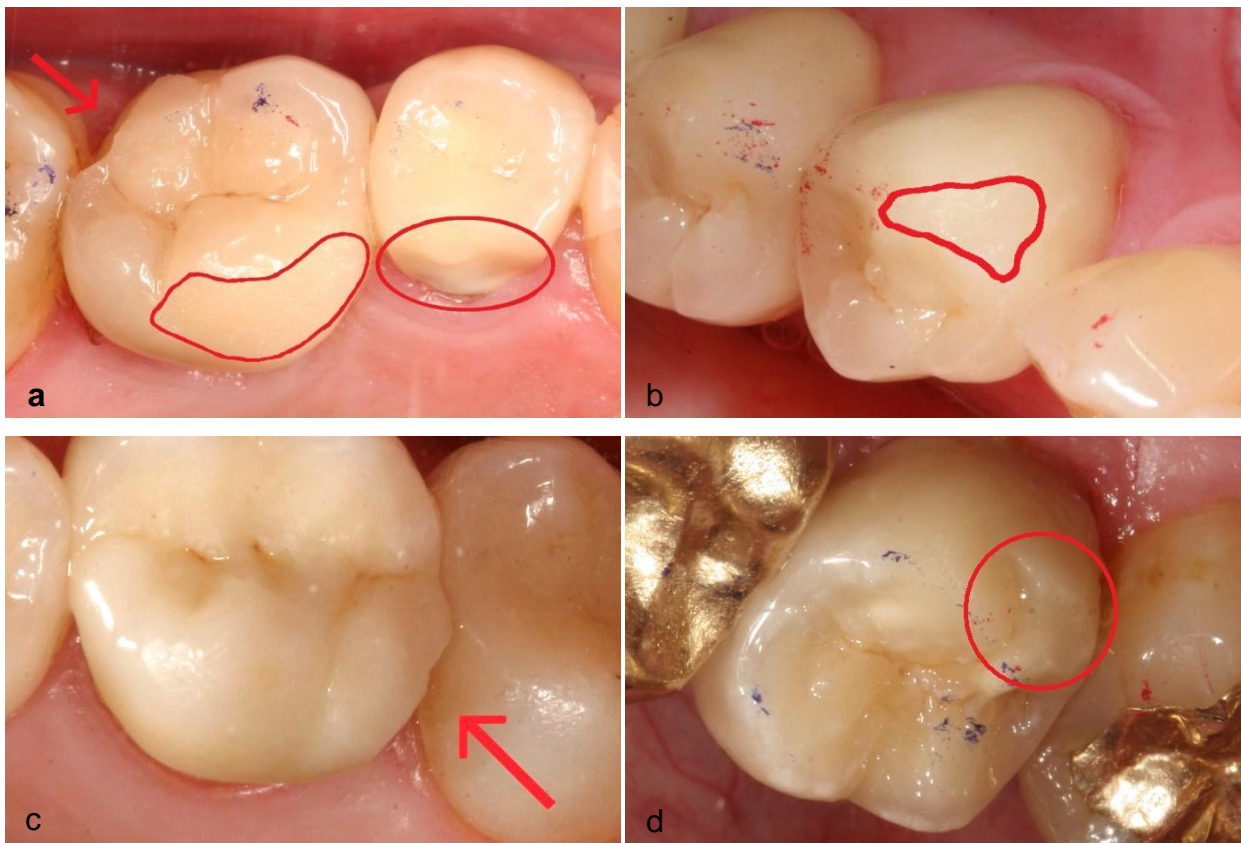


Abb. 8 a-d Beispiele für Verblendfrakturen in Gruppe A. **a** Krone Nr. 30 an Zahn 25 mit palatinaler Gerüstfreilegung und Krone Nr. 31 an Zahn 26 mit großflächigem aber sehr flachem Chipping mesiopalatinal und einer Abplatzung mit Gerüstfreilegung distobukkal, die die Mundhygiene im Approximalbereich deutlich erschwert. **b** Krone Nr. 15 mit sehr flachem Chipping. **c und d** Kronen Nr. 33 und Nr. 9 mit etwas tieferem Chipping aber ohne funktionelle oder oralhygienische Beeinträchtigung [Fotos: Dr. Pishwa/ E. Rörster]

Sekundärkaries

Während des gesamten Nachuntersuchungszeitraumes wurde keine Sekundärkaries festgestellt.

Beurteilung der Kronen auf einer Skala von 0 bis 10

	Note	Baseline n=36		2 Jahre n=29	
Beurteilung der Funktion durch den Patienten	7	1			
	8	2		3	
	9	1		1	
	10	32	Ø=9,78	25	Ø=9,76
Beurteilung der Ästhetik durch den Patienten	8	-		1	
	9	1		3	
	10	35	Ø=9,97	25	Ø=9,83
Beurteilung der Funktion durch den ZA	7	1		1	
	8	6		4	
	9	2		1	
	10	27	Ø=9,53	23	Ø=9,59
Beurteilung der Ästhetik durch den ZA	6	-		1	
	7	8		7	
	8	11		7	
	9	7		5	
	10	10	Ø=8,53	9	Ø=8,48

Tabelle 12 Beurteilungen der Kronen in Funktion und Ästhetik durch den Patienten und den Zahnarzt mit Durchschnittsnote

In Tabelle 13 sind alle Ereignisse aus Gruppe A protokolliert, die während des Untersuchungszeitraumes von zwei Jahren aufgetreten sind und zu Abwertungen geführt haben. Die Kronen Nr. 23 und 24 konnten nur über sechs Monate und die Krone Nr. 1 nur über ein Jahr kontrolliert werden, da die Patienten den folgenden Nachuntersuchungen fern geblieben waren. Bei allen anderen Kronen, die nicht in der Tabelle erscheinen, gab es keine Komplikationen.

Nr	Z	p.i.	detaillierte Angaben zum aufgetretenen Misserfolg		Bewertung	absoluter Misserfolg
2	45	BL	dynamische Okklusion	zu starker Kontakt bei exzentrischer Bewegung (später Gruppenführung)	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
		06	Abplatzung	Chipping, mesioling. 2x3 mm, flach	Bravo	nein, Politur
		24	Abplatzung	Chipping, distobukk. 3x3 mm etwas tiefere Kerbe mit Beeinträchtigung des Approximalbereichs	Charlie	ja
3	15	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
7	15	BL	Rand-ÜG	minimal tastbarer Randspalt	Bravo	nein
		BL	Appr.-K	mesial sehr flächiger Kontaktpunkt	Bravo	nein
8	16	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
		03	Abplatzung	Chipping, mesiale Randleiste nach approximal hin.	Charlie	ja
9	27	BL	Rand-ÜG	vestibulär überkonturiert	Bravo	nein
		24	Abplatzung	Chipping, distopalatinaler Höckerabhang ca. 2x4mm (Abb. 8 d)	Bravo	nein, Politur
10	36	BL	statische Okklusion	schwächer als Nachbarzähne (bei 2-Jahres-NU gut)	Bravo (Alpha)	nein
		BL	Rand-ÜG	mesiobukkal leicht unterkonturiert	Bravo	nein
11	46	BL	statische Okklusion	schwächer als Nachbarzähne (bei 2-Jahres-NU gut)	Bravo (Alpha)	nein
12	16	BL	dynamische Okklusion	starker exzentrischer Kontakt (später Gruppenführung)	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
13	37	BL	dynamische Okklusion	starker exzentrischer Kontakt (später Gruppenführung)	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
		BL	Perkussion	leicht positiv seit wenigen Tagen,	1	abwarten ob Besserung
		06	Retention	Retentionsverlust, Krone intakt, Stumpfpräparation sehr konisch		nein, rezementiert
		06	Perkussion	unverändert leicht positiv	1	abwarten ob Besserung
		12	Abplatzung	Chipping, großflächige Abplatzung bukkal, starke ästhetischer Einbuße	Delta	ja und röntgenol. Abklärung
14	15	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
15	34	24	Abplatzung	Chipping, mesiobukkaler Höckergrat und -abhäng1x2mm (Abb. 8 b)	Bravo	nein, Politur
17	24	BL	Perkussion	seit kurz nach Eingliederung positiv (bei den folgenden NU reagierte der Zahn dann negativ)	1 (0)	Abwarten
		BL	Sensibilität	Zahn reagiert überempfindlich auf Kälte seit kurz nach Eingliederung (bei weiteren NU normale Reaktion)	1 (2)	Abwarten
		BL	statische	deutlicher Frühkontakt	Bravo	nein, stark

			Okklusion		(Alpha)	rekonturiert
			Rand-ÜG	palatinal Randspalt minimal tastbar, bukkal leicht unterkonturiert	Bravo	nein
19	15	BL	Sensibilität	Zahn reagiert überempfindlich auf Kälte seit kurz nach Eingliederung	1	Abwarten
		06	Sensibilität	noch immer hypersensibel	1	ja, WKB erforderlich
			Perkussion	positiv, aufbisempfindlich	1	
			Abplatzung	Chipping, pal. Höckerabhäng, klein	Bravo	
20	25	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
22	36	06	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert
25	16	BL	Appr.-K	mesial zu stramm, (bei den folgenden NU sehr gut)	Bravo (Alpha)	nein
30	25	24	Abplatzung	großflächige Verblendfraktur palatinal mit freiliegendem Gerüst bis zur cervicalen Stufe (Abb. 8 a)	Charlie	ja
31	26	24	Abplatzung	Chipping mesiopalatinal ca.3x7mm flach; Verblendfraktur mit Gerüstfreilegung distobukkal-approximal ca. 4x6 mm (Abb. 8 a)	Bravo Charlie	ja
32	38	BL	Sensibilität	Zahn reagiert überempfindlich auf Kälte seit kurz nach Eingliederung	1	Abwarten
		06	Perkussion	leicht positiv, (jedoch Sensibilität wieder normal)	1 (2)	Patientin will abwarten
		24	Sensibilität	keine Reaktion auf CO2-Schnee	0	ja, WKB erforderlich
Perkussion	leicht positiv		1			
33	26	24	Abplatzung	Chipping distopalatinal ca. 2x2mm (Abb. 8 c)	Bravo	nein, Politur
35	26	BL	dynamische Okklusion	leichter Kontakt bei exzentrischer Bewegung	Bravo	nein, rekonturiert
		9	Abplatzung	Chipping, vestibulär, großflächig	Delta	ja
36	46	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt später Gruppenführung	Bravo (Alpha)	nein, rekonturiert

Tabelle 13 Zusammenfassung aller Misserfolge, die in Gruppe A aufgetreten sind, mit Angabe des Zeitpunktes (p.i.) in Monaten nach dem Einsetzen der Krone, an dem der Misserfolg zum ersten Mal bei einer Nachuntersuchung (= NU) festgestellt wurde bzw. an dem der Patient anrief und von dem Ereignis berichtete. Nr = Kronennummer; Z = Zahn, an dem der Misserfolg auftrat; BL = Baseline-Untersuchung; Rand-ÜG = Randübergang/Randspalt; Appr.-K = Approximalkontakt

Bei der Krone Nr. 19 wurde zur sechs-Monats-Nachuntersuchung ein Chipping festgestellt, das mit „Bravo“ bewertet wurde. Zeitgleich musste wegen endodontischer Beschwerden eine Trepanation entschieden werden. Die Krone Nr. 19 fiel dadurch als absoluter Misserfolg aus der weiteren Untersuchung aus. Da das Nicht-Überleben jedoch nicht durch Materialversagen hervorgerufen wurde, zählt sie bei der Auswertung

der Ergebnisse bezüglich der ersten Hypothese als Drop Out (Zensur) nach sechs Monaten. Weil für die zweite und dritte Hypothese auch Materialversagen der Kategorie „Bravo“ als eingetretenes Ereignis zählt, also auch das bereits entstandene Chipping nach sechs Monaten, ist in der weiteren Ergebnisauswertung für die Hypothese 1 von vier Drop Outs, bei den Hypothesen 2 und 3 aber nur von drei Drop Outs die Rede.

Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die aufgetretenen Verblendfrakturen

Nr	Z	Fraktur	Bewertung	Lokalisation
2	45	Chipping	Bravo	äußerer Abhang des Scherhöckers mesial
2	45	Chipping	Charlie	äußerer Abhang des Arbeitshöckers distal
8	26	Chipping	Charlie	mesiale Randleiste
9	17	Chipping	Bravo	äußerer Abhang des distalen Arbeitshöckers
13	37	Chipping	Delta	äußere Abhänge beider Arbeitshöcker
15	34	Chipping	Bravo	Grat und äußerer Abhang des Arbeitshöckers mesial
19	15	Chipping	Bravo	äußerer Abhang des Arbeitshöckers
30	25	VF m. GF	Charlie	komplette palatinale Wand
31	26	Chipping	Bravo	äußerer Abhang des mesialen Arbeitshöckers
31	26	VF m. GF	Charlie	dist. Randleiste u. äußerer Abhang d. dist. Scherhöckers
33	26	Chipping	Bravo	äußerer Abhang des distalen Arbeitshöckers
35	26	Chipping	Delta	äußere Abhänge beider Scherhöcker

Tabelle 14 Angaben über die Lokalisation aller aufgetretenen Materialversagen in Gruppe A. Nr = Kronennummer; Z = Zahn; VF m. GF = Verblendfraktur mit Gerüstfreilegung

4.2 Erhobene klinische Daten der Gruppe B

In der Gruppe B wurden 36 Seitenzahnkronen bei 28 Patienten eingegliedert. Unter den eingegliederten Kronen waren 16 für Prämolaren und 20 für Molaren. Bei den präoperativen Untersuchungen ergab sich 18-mal der Befund vitaler Zahn. Zur Baseline-Nachuntersuchung nach etwa zwei Wochen und zur Kontrolle nach einem halben Jahr sind alle Patienten erschienen. Nach einem Jahr konnten bei 24 Patienten 31 Kronen nachuntersucht werden. Zur Abschlussbeurteilung nach zwei Jahren konnten zu 35 Kronen bei 27 Patienten klinische Daten erhoben werden. Von den 35 Kronen wurde eine Krone von einem nicht kalibrierten Zahnarzt in der Schweiz untersucht, da es dem Patienten nach Umzug nicht möglich war, in dem vorgegebenen Zeitraum die Räumlichkeiten der Zahnklinik der Charité aufzusuchen. Bei diesem Patienten wurde nur die Keramik auf Sprünge/Risse, Verblend- oder Gerüstfrakturen untersucht und der Zahnarzt stellte einen insgesamt unauffälligen klinischen Zustand fest, aber es wurden keine anderen Untersuchungsparameter wie

PI/PBI/Sondierungstiefen erhoben. Eine Übersicht über die Teilnahme an den Nachuntersuchungen gibt Tabelle 15.

	Baseline	1/2 Jahr	1 Jahr	2 Jahre
An der NU teilgenommen (davon neu als abs. Misserfolg bewertet)	36 (-)	36 (0)	31 (0)	34 (0)
Beurteilung von Zahnarzt alio loco in Bezug auf Frakturen der Keramik	-	-	-	1
zur NU nicht erschienen	-	-	5	1

Tabelle 15 Übersicht über die Teilnahme an den Nachuntersuchungen für Gruppe B

Plaqueindex, Papillenblutungsindex und Sondierungstiefen

Bei einem Patienten wurde nach sechs Monaten eine generelle Verschlechterung des gingivalen und parodontalen Zustands festgestellt. Nach einer Parodontaltherapie verbesserte sich der Zustand wieder. Nach zwei Jahren konnte bei keinem Patienten eine auffällige Veränderung in Bezug auf die gingivale und die parodontale Gesundheit zwischen dem überkronten und dem Referenzzahn entdeckt werden.

Sensibilität und Perkussion

Fünf Zähne reagierten kurz nach der Eingliederung mit Überempfindlichkeit bei Kälte. Bei drei Zähnen hielt dies nur wenige Tage an, bei einer Patientin waren beide Zähne überempfindlich. Einer für mehrere Monate, der andere ca. ein Jahr lang. Einer entwickelte dabei für kurze Zeit eine leichte Perkussionsempfindlichkeit. Bei einem devitalen Zahn eines anderen Patienten kam es wahrscheinlich wegen zu starker exzentrischer Belastung zu Aufbissbeschwerden und Perkussionsempfindlichkeit, die nach Rekonturierungsmaßnahmen verschwanden. Spätestens zur zwei-Jahres-Nachuntersuchung reagierte keiner dieser Zähne mehr perkussionsempfindlich und kein Zahn zeigte mehr eine Überempfindlichkeit auf Kälte bei normaler Sensibilität. Bei einem schon von Beginn an devitalen Zahn erwies sich eine Wurzelspitzenresektion als notwendig.

Lockerungsgrad

Keiner der Zähne entwickelte während der zwei Jahre einen Lockerungsgrad.

Approximalkontakt

Zu Beginn zeigten sich bei vier Kronen die Kontaktpunkte zu schwach und wurden mit „Bravo“ bewertet. Zur zwei-Jahres-Nachuntersuchung waren zwei dieser Kontaktpunkte ausreichend stramm, um mit „Alpha“ bewertet zu werden, bei den anderen beiden blieb es bei der Bewertung „Bravo“.

Okklusion

Zwei Kronen zeigten zunächst eine etwas schwache statische Okklusion. Bei sechs Kronen musste die dynamische Okklusion zu den Nachuntersuchungen noch korrigiert werden. Nach zwei Jahren wurden alle Kronen in Bezug auf statische und dynamische Okklusion mit „Alpha“ bewertet.

Randspalt/Randübergang

Es kam bei zwei Kronen zu Abwertungen bezüglich des Randübergangs. Eine Krone war überkonturiert, eine andere teilweise unterkonturiert. Beide Kronen wurden mit „Bravo“ bewertet.

Verblendfraktur/ Gerüstfraktur

Bei keiner der 35 Kronen, die nach zwei Jahren untersucht wurden zeigten sich Sprünge/Risse, Abplatzungen oder Gerüstfrakturen.

Sekundärkaries

Während des gesamten Nachuntersuchungszeitraumes von zwei Jahren wurde keine Sekundärkaries festgestellt,

Beurteilung der Kronen auf einer Skala von 0 bis 10

	Note	Baseline n=36		2 Jahre n=34	
Beurteilung der Funktion durch den Patienten	7	1		-	
	8	2		-	
	9	7		4	
	10	26	Ø=9,9	30	Ø=9,88
Beurteilung der Ästhetik durch den Patienten	6	2		-	
	7	2		-	
	8	4		4	
	9	5		3	
	10	23	Ø=9,75	27	Ø=9,68
Beurteilung der Funktion durch den ZA	7	2		-	
	8	3		-	
	9	5		1	
	10	26	Ø=9,7	34	Ø=9,97
Beurteilung der Ästhetik durch den ZA	7	1		-	
	8	9		6	
	9	7		2	
	10	19	Ø=9,71	34	Ø=9,63

Tabelle 16 Beurteilungen der Kronen in Funktion und Ästhetik durch den Patienten und den Zahnarzt mit Durchschnittsnote

In Tabelle 17 sind alle Ereignisse protokolliert, die während des Untersuchungszeitraumes von zwei Jahren aufgetreten sind und zu Abwertungen geführt haben. Die Kronen-Nummer 4 zählt als Drop out, da die Patientin nicht an der zwei-Jahres-Nachuntersuchung teilgenommen hat. Bei allen anderen Kronen, die nicht in der Tabelle erscheinen, gab es keine Komplikationen.

Nr	Z	p.i.	detaillierte Angaben zum aufgetretenen Misserfolg		Bewertung	absoluter Misserfolg
1	36	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	beta (Alpha)	nein, rekonturiert
2	45	BL	dynamische Okklusion	starker exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	beta (Alpha)	nein, deutlich rekonturiert
			Perkussion	positiv; devitaler Zahn seit kurz nach Eingliederung aufbissemphindlich	1	nein, Abwarten ob nach Einscheifen Besserung
		6	Perkussion/dynamische Okklusion	Nach erster Besserung wieder etwas perkussionsempfindlich und erneuter exzentrischer Kontakt (bei weiteren NU Perkussion negativ u. keine dyn. Okkl.	1 beta (Alpha)	nein, nochmaliges Rekonturieren

3	26	BL	Rand-ÜG	circulär leicht überkonturiert	beta	nein
6	37	BL	Sensibilität	reagierte wenige Tage überempfindlich, zur NU bereits wieder normal	1 (2)	nein,
8	26	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bis zur 2-Jahres-NU keine dyn. Okkl. mehr	beta (Alpha)	nein, rekonturiert
		22	Retention	Retentionsverlust ohne weitere Schäden an Zahn oder Krone		nein, rezementiert
11	17	BL	Appr.-K	etwas schwach (wurde mit der Zeit stärker, bei 2-Jahres-NU schön stramm)	beta (Alpha)	nein
12	46	BL	dynamische Okklusion	leichter exzentrischer Kontakt; bei folgenden NU keine dyn. Okkl. mehr	beta (Alpha)	nein, rekonturiert
			Sensibilität	Zahn reagiert seit kurz nach Eingliederung überempfindlich auf Kälte (bis zur 1-Jahres-NU, bei 2-Jahres-NU normale Reaktion)	1 (2)	nein, Abwarten
		12	Perkussion	negativ, aber Patientin beschreibt, dass Zahn bei starkem Zubeißen manchmal schmerzt (zur 2-Jahres-NU ist dies nicht mehr der Fall)	1 (0)	nein, Abwarten
13	47	BL	Sensibilität	Zahn reagiert seit kurz nach Eingliederung überempfindlich auf Kälte (ab 1-Jahres-NU normale Reaktion)	1 (2)	nein, Abwarten
14	16	BL	Sensibilität	reagierte wenige Tage überempfindlich, zur NU bereits wieder normal	1 (2)	nein, Abwarten
16	25	BL	Rand-ÜG	lingual leicht unterkonturiert	beta	nein
17	36	24	Perkussion	devitaler Zahn reagiert deutlich bei Perkussion; Druckdolenz von vestibulär, WSR empfohlen	1	nein
21	36	BL	Appr.-K	mesial etwas schwach	beta	nein
24	14	BL	Sensibilität	reagierte wenige Tage überempfindlich, zur NU bereits wieder normal	1 (2)	nein, Abwarten
26	24	BL	Appr.-K	mesial etwas schwach	beta	nein
29	36	BL	dynamische Okklusion	Kontakt auf distaler Randleiste; bei folgenden NU keine dyn. Okkl. mehr	beta (Alpha)	nein, rekonturiert
31	46	BL	statische Okklusion	etwas schwächer als bei den Nachbarzähnen, nach 6 Monaten gleich	beta (Alpha)	nein
			dynamische Okklusion	starker Kontakt auf distaler Randleiste (später Gruppenführung)	beta (Alpha)	nein, rekonturiert
32	46	BL	Approximalkontakt	zunächst distal etwas schwach, aber bis zur 2-Jahres-NU normal stramm	beta (Alpha)	nein
34	46	BL	statische Okklusion	etwas schwächer als bei den Nachbarzähnen, nach 6 Monaten gleich	beta (Alpha)	nein

Tabelle 17 Zusammenfassung aller Misserfolge, die in Gruppe B aufgetreten sind mit Angabe des Zeitpunktes (p.i.) in Monaten nach dem Einsetzen der Krone, an dem der Misserfolg zum ersten Mal bei einer Nachuntersuchung (= NU) festgestellt wurde. Nr = Kronen-Nummer; Z = Zahn, an dem der Misserfolg auftrat; BL = Baseline-Untersuchung; Rand-ÜG = Randübergang/Randspalt; Appr.-K = Approximalkontakt

4.3 Statistische Auswertung der klinischen Daten von Gruppe A und B

Aus den Tabellen 13 und 17 ergeben sich folgende Erfolgs- bzw. Misserfolgsquoten nach zwei Jahren in situ:

Bei der Kontrollgruppe (A) haben nach zwei Jahren 25 von 33 Kronen überlebt. Die Überlebensrate liegt demnach bei 75,8%. Bei der Experimentalgruppe (B) haben alle Kronen die zwei Jahre überlebt (Überlebensrate = 100%).

Wenn man das Überleben aber als Überleben des Materials definiert (Bewertungen des Parameters Verblendfrakturen mit „Alpha“ und „Bravo“), liegt die Überlebensrate bei Gruppe A bei 81,8% und bei Gruppe B bei 100%. Als klinisch exzellenten Erfolg, also ganz ohne Ereignisse von Materialversagen, sind in Gruppe A wegen der vier Kronen, die Chippings mit der Bewertung „Bravo“ aufwiesen, jedoch nur 69,7% und in Gruppe B wieder 100% anzusehen.

	einschließlich aller Untersuchungsparameter				ausschließliche Betrachtung des Parameters Verblendfrakturen			
	Gruppe A n = 33		Gruppe B n = 35		Gruppe A n = 33		Gruppe B n = 35	
Erfolg	19	57,6%	31	88,6%	23	69,7%	35	100%
relativer Misserfolg	6	18,2%	4	11,4%	4*	12,1%	-	0%
absoluter Misserfolg	8	24,3%	-	0%	6	18,2%	-	0%

Tabelle 18 Darstellung der Erfolgs- und Misserfolgsquoten nach zwei Jahren. *Bei einer Krone ist nach 6 Monaten ein Chipping aufgetreten. Kurz darauf wurde die Krone trepaniert. Die Krone zählt hier zu den relativen Misserfolgen, obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass nicht innerhalb des Beobachtungszeitraums von zwei Jahren noch ein weiteres Ereignis von Materialversagen aufgetreten wäre, was zu einem absoluten Misserfolg geführt hätte.

Überleben (Hypothese 1)

Für die Überprüfung der ersten Nullhypothese ist es notwendig nur die Materialversagen zu betrachten, die zu einem absoluten Misserfolg führen. In der Kontrollgruppe kam es innerhalb von zwei Jahren bei sechs Kronen zu derart gravierendem Materialversagen, sodass diese entfernt und erneuert werden mussten. Vier Kronen konnten nicht bis zum Ende des Nachuntersuchungszeitraumes auf „Überleben“ des Materials kontrolliert werden. In Gruppe B haben alle Kronen „überlebt“ und nur eine Patientin mit einer Krone konnte nicht zum zwei-Jahres-Nachuntersuchungstermin erscheinen. Abbildung 9 zeigt die Überlebenskurven beider Gruppen im Vergleich.

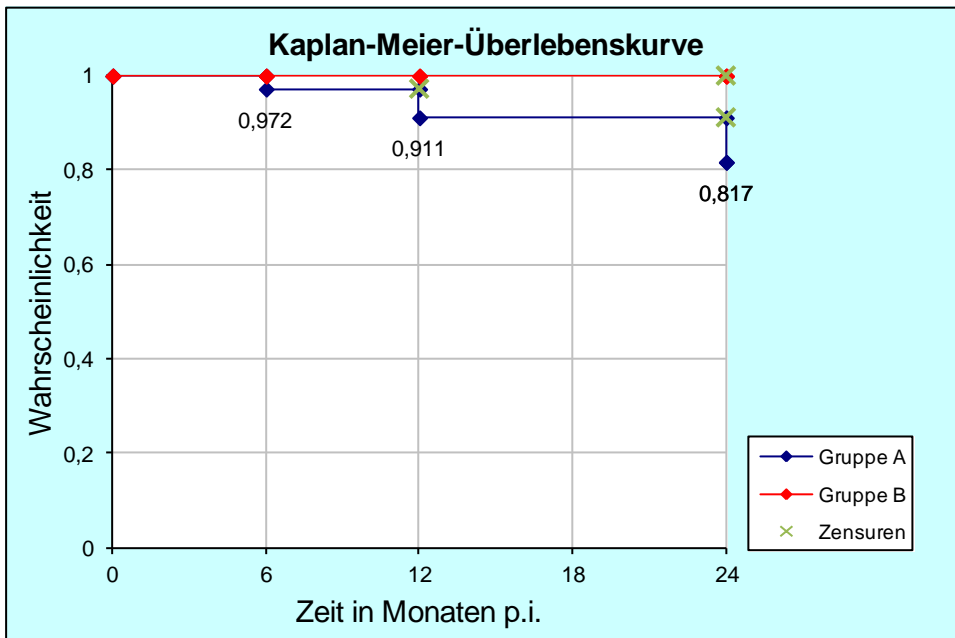


Abb. 9 Kaplan-Meier-Überlebenskurve zur Darstellung der Wahrscheinlichkeit, dass kein Materialversagen auftritt, das zum absoluten Misserfolg führt.

Der über den Logranktest errechnete χ^2 -Wert 6,975 ergibt den p -Wert 0,008. Bei vorher festgelegtem $\alpha = 0,05$ ist somit $p < \alpha$ und $p < 0,01$.

Häufigkeit des Auftretens von Materialversagen (Hypothese 2)

Bei der zweiten Hypothese geht es darum, die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich Materialversagen jeglicher Art zu betrachten. Also werden hier auch nur leichte Chippings, die die Bewertung „Bravo“ erhielten und in situ verblieben als Ereignis gewertet. In Gruppe A wurden zwölf Materialversagen an zehn Kronen beobachtet. Drei Kronen konnten nicht bis zum Ende des Nachuntersuchungszeitraumes kontrolliert werden, wiesen aber zu ihrem jeweils letzten Nachuntersuchungstermin noch kein Materialversagen auf. Für 23 Kronen kann man ein Materialversagen innerhalb der zwei Jahre ausschließen. In der Studiengruppe B kam es bei keiner der 35 Kronen, die zwei Jahre lang nachuntersucht wurden, zu einem Materialversagen. Aus der Abbildung 10 kann man erkennen, mit welcher Wahrscheinlichkeit zu einem gewissen Zeitpunkt eine Krone ohne Materialversagen in situ ist.

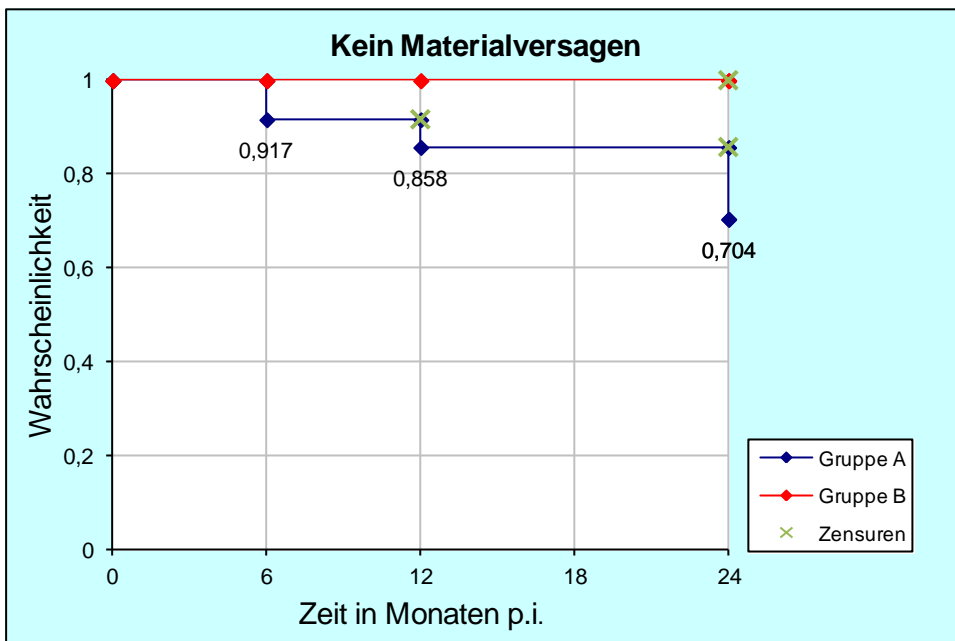


Abb. 10 Kaplan-Meier-Kurve zur Darstellung der Wahrscheinlichkeit, dass keine Art von Materialversagen auftritt.

Mithilfe des Logranktests wurde der χ^2 -Wert 11,517 errechnet und daraus der p -Wert 0,0007 ermittelt. Damit ist $p < \alpha$ und $p < 0,01$.

Klinischer Erfolg (Hypothese 3)

Für die Überprüfung der dritten Nullhypothese wurde zunächst anhand der Kaplan-Meier-Schätzung die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Krone einen exzellenten klinischen Erfolg darstellt, geschätzt. In Gruppe A wurden neben drei Drop Outs, die zu ihrem Ausscheidungszeitpunkt noch in allen Kriterien mit „Alpha“ bewertet wurden, bei 14 Kronen mindestens für ein Untersuchungskriterium „Bravo“ oder eine schlechtere Bewertung vergeben. Am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes erhielten 19 Kronen in allen Bereichen die Bewertung „Alpha“ und gelten so als klinisch exzellent. Bei der Gruppe mit den modifizierten Gerüsten wurden vier Kronen mit „Bravo“ abgewertet. Wegen eines Drop Outs waren es nach zwei Jahren 31 Kronen, die als klinisch exzellent gelten. Abbildung 11 zeigt die Kaplan-Meier-Kurven beider Gruppen, anhand derer man die Wahrscheinlichkeit abschätzen kann, mit der eine Krone nach einem bestimmten Zeitpunkt einen klinisch exzellenten Erfolg darstellt.

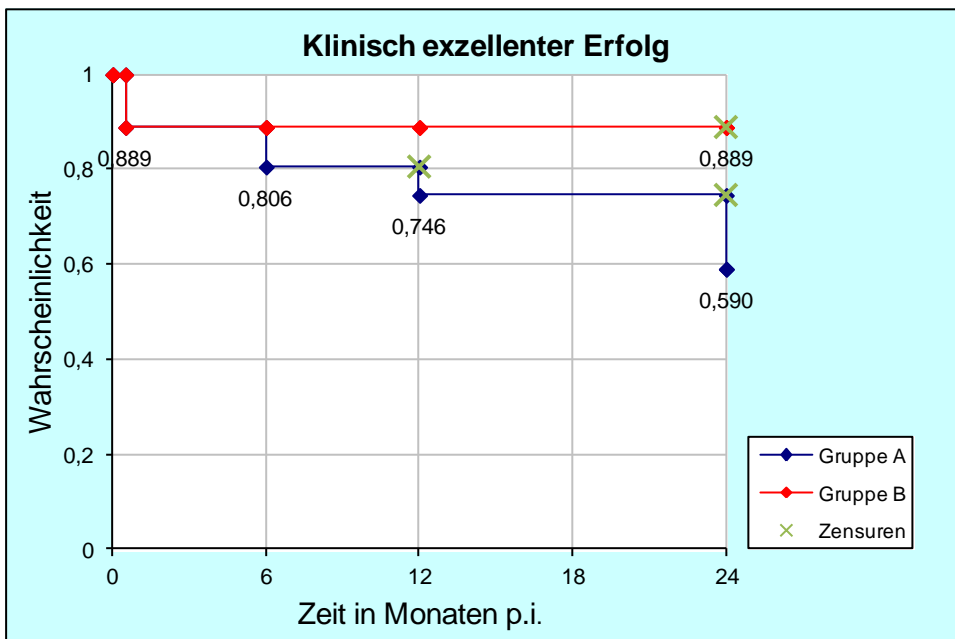


Abb. 11 Kaplan-Meier-Kurve zur Darstellung der Wahrscheinlichkeit, dass die eingesetzte Krone zu einem klinisch exzellenten Erfolg führt.

Über den Logranktest wurde der χ^2 -Wert 6,5 ermittelt. Daraus folgt der p -Wert 0,011. Somit ist $p < \alpha$, aber knapp $p > 0,01$.

5 Diskussion

5.1 Diskussion des Materials und der Methode

5.1.1 Wahl des Materials

Vollkeramische Verbundkronen auf Zirkonoxidbasis sind für den Seitenzahnbereich allgemein anerkannt. (4, 34, 65, 77, 95, 105). Dank der hohen Gerüststabilität beschreibt der Großteil der Studien eine Überlebensrate von Verbundkronen auf Zirkonoxidbasis, die den VMK ähnlich ist, jedoch werden zumeist höhere Materialversagen in der Verblendung, allen voran Chippings, beobachtet (4, 32, 46, 58, 60, 96, 97, 100, 106).

Um sich in der vorliegenden Studie auf die Auswirkung eines anatomisch veränderten Gerüstdesigns auf die Verblendfrakturrate konzentrieren zu können, wurde für die Kontroll- und die Studiengruppe das gleiche Material und Herstellungsverfahren gewählt. Cercon® base und Cercon® base colored (DeguDent GmbH, Hanau), die Gerüstmaterialien auf Zirkonoxidbasis, die beim Cercon® - Verfahren benutzt werden, und die darauf abgestimmte Verblendmasse Cercon® ceram kiss vom gleichen Hersteller wurden in verschiedenen In-vitro-Studien bereits auf die mechanische Stabilität, Biokompatibilität, Ästhetik und Rand- sowie interne Passung untersucht (8, 24, 42, 56, 116). Auch klinisch hat sich das Cercon® - Verfahren bereits bewährt (12, 17, 43, 61, 80, 108).

Zum Schwachpunkt innerhalb der Studie gehören zum einen die in Kapitel 3.3 beschriebenen, durch die zeitliche Weiterentwicklung des Herstellungsverfahrens für Cercon®-Kronen bedingten unterschiedlichen Verfahren in der Gerüstkonstruktion (in Gruppe A wurden die Gerüstkäppchen teilweise aus Wachs modelliert, in Gruppe B ausschließlich per CAD-Technik entworfen), wie auch die Tatsache, dass die Verblendung der Kronen aus Gruppe A und Gruppe B in unterschiedlichen Dental-Laboren stattfanden. Zu Beginn der Behandlung von Gruppe A war das Cercon® - Verfahren eine reine CAM-Technik. Der Hersteller brachte nach kurzer Zeit aber das Programm Cercon® - Art auf den Markt, das auch das virtuelle Konstruieren ermöglichte. Die Tatsache, dass CAD-/CAM-Verfahren bei In-vitro-Studien bessere Ergebnisse hinsichtlich interner und marginaler Passung hervorbringen als CAM-

Verfahren (11, 13, 87), führte zu der Entscheidung, die verbliebenen 21 Kronen aus Gruppe A und alle Kronen der Gruppe B nach dem CAD-/CAM Verfahren herzustellen. Da sieben von den insgesamt zwölf Verblendfrakturen aus Gruppe A aber bei den Kronen auftraten, die nach dem CAD-/CAM – Verfahren gefertigt worden waren, kann davon ausgegangen werden, dass das Ändern des Verfahrens nicht für den hochsignifikanten Unterschied in der Frakturrate zwischen Gruppe A und B verantwortlich ist.

Dagegen lässt sich nicht so gut beurteilen, wie stark sich der Wechsel des Labors, das die Gestaltung der Gerüstkäppchen und die Verblendungen durchführte, auf die Qualität des Materials auswirkte. Ein Laborwechsel zwischen der Kontroll- und der Studiengruppe konnte leider nicht vermieden werden.

In der vorliegenden Studie wurden in der Kontrollgruppe (A) die Hälfte der Kronen konventionell mit dem Zinkoxid-Phosphatzement Harvard®schnellhärtend (Harvard Dental, Berlin) und die andere Hälfte mit dem selbstadhäsiven Komposit-Befestigungszement RelyX™ Unicem (3M ESPE, Seefeld) befestigt. Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede bei der klinischen Bewährung in Abhängigkeit vom Befestigungsmaterial. Dies entspricht den aktuellen Studien, laut denen beide Befestigungsmaterialien bei ausreichend gegebener Retention für Zirkonoxid gleichermaßen geeignet sind (22, 26, 53, 78, 84). Während bei Glaskeramiken das adhäsive Befestigen mit einer Festigkeitssteigerung der Restauration einhergeht, kann bei Zirkonoxid dadurch keine erhöhte Frakturresistenz beobachtet werden (91, 92).

5.1.2 Wahl der Methode

In-vitro-Studien können zwar Angaben über die Eigenschaften von Materialien leisten, aber sie dienen nicht als Belege für klinisches Verhalten. Um den klinischen Erfolg beurteilen zu können, sind In-vivo-Studien unerlässlich (54). Die vorliegende Studie vergleicht in einer prospektiven Herangehensweise die klinische Bewährung über zwei Jahre von vollkeramischen Verbundkronen auf Zirkonoxidbasis mit gleichmäßiger Gerüststärke und mit einem anatomisch modifizierten Gerüstdesign.

Durch die modifizierten USPHS-Bewertungskriterien war es relativ einfach zu jedem Nachuntersuchungszeitpunkt zu bestimmen, wie viele Kronen aktuell noch einen

exzellenten klinischen Erfolg darstellten, bei wie vielen Kronen ein relativer Misserfolg bei klinischer Akzeptabilität eingetreten war und wie viele Kronen einen absoluten Misserfolg darstellten.

Aufgrund der ausreichend hohen Anzahl an eingesetzten Kronen (36 je Gruppe) stellen sich signifikante und hochsignifikante Unterschiede zwischen der Kontroll- und der Experimentalgruppe dar. Durch die Verwendung gleicher Materialien von demselben Hersteller (DeguDent GmbH, Hanau) und die Begrenzung auf den Seitenzahnbereich bei fast gleicher Anzahl von Prämolaren und Molaren in beiden Gruppen kann man davon ausgehen, dass der Unterschied in der Frakturrate tatsächlich zu einem großen Teil auf die unterschiedliche Gerüstgestaltung zurückzuführen ist.

Jedoch sind geringe Nachteile an der Methodik zu benennen:

- Die Kronen wurden im Studentenkurs eingegliedert und daher waren viele unterschiedliche studentische Behandler und betreuende Zahnärzte beteiligt, die den Erfolg oder Misserfolg der jeweiligen Kronen mit beeinflusst haben könnten.
- An den Nachuntersuchungen waren insgesamt drei Zahnärzte beteiligt, wobei zu jeder Nachuntersuchung nur ein Zahnarzt anwesend war. Die nachuntersuchenden Zahnärzte waren über das Vorgehen bei den Nachuntersuchungen instruiert und konnten die Bewertungen anhand des Nachuntersuchungsbogens gut dokumentieren, jedoch bleibt ein kleiner Unterschied in der Interpretation von klinischen Befunden (wie z. B. gingivale und parodontale Gesundheit, Überkonturierung und Stärke des Approximalkontaktes) nicht aus. Das Hauptaugenmerk der Studie, nämlich das Auftreten von Materialversagen, lässt jedoch kaum Interpretationsspielraum zu und bleibt daher davon weitestgehend unberührt.
- Die Nachuntersuchungen bezüglich der Materialbeständigkeit wurden nur mit Spiegel, Licht und Sonde durchgeführt. Eventuell hätte ein zusätzliches optisches Vergrößerungsmedium die Ergebnisse derart beeinflusst, dass sich Sprünge oder Risse, oder aber minimale Abplatzungen gezeigt hätten, die dem bloßen Auge und dem Tasten mittels Sonde verborgen geblieben sind. Als Möglichkeit hätte auch das frühzeitige Erkennen von Sprüngen durch Färbelösungen genutzt werden können (38).

Zu beachten ist ebenso, dass Ereignisse von Materialversagen auch immer eine individuelle Komponente als Ursache haben können. So treten in Gruppe A bei einer

Patientin, die eine Krone erhielt, ein Chipping nach sechs Monaten (Kategorie „Bravo“, daher in situ belassen) und ein weiteres Chipping an einer anderen Kronenfläche nach 24 Monaten auf und bei einem anderen Patienten, der zwei Kronen erhielt, kann man nach zwei Jahren gleich drei lokal voneinander abgegrenzte Frakturen beobachten (Abb. 7 a). Um individuelle Faktoren, deren Einfluss auf die klinische Bewährung als stark eingeschätzt wird, zu vermeiden, wurde bei der Patientenselektion darauf geachtet, dass unter anderem keine Patienten mit dentalen Zeichen von Parafunktionen, mit einer systemischen Erkrankung, mit aktiver Parodontitis oder Zähnen mit dentalen Strukturveränderungen oder Lockerungsgrad in die Studie aufgenommen wurden (siehe Kapitel 3.1. Patientengut). Ein weiteres entscheidendes Kriterium war, dass kein herausnehmbarer Zahnersatz und stets eine natürliche Gegenbeziehung vorliegen sollten. Dies schränkte die Anzahl der potentiell teilnehmenden Probanden stark ein.

Um noch aussagekräftigere Ergebnisse über die klinische Langzeitbewährung eines anatomischen Gerüstdesigns zu erhalten, könnte man den Einfluss weiterer Faktoren zu minimieren versuchen. Ein in dem Sinne verändertes Studiendesign, dass jeder Patient zeitgleich eine Krone der Kontroll- und eine der Studiengruppe erhält, die sich außer in dem zu untersuchenden Kriterium wie das Gerüstdesign, weder in Herstellungsverfahren und beteiligtem Zahntechniker noch in Behandler und Nachuntersucher unterscheiden, wäre optimal.

Es dürfte jedoch schwierig sein, für eine sogenannte Split-Mouth-Studie in einem geeigneten Zeitrahmen eine für signifikante Aussagen ausreichend große Menge an Patienten zu finden. Eine standardisierte Form für klinische Untersuchungen bezüglich Chippings, die es ermöglicht Ergebnisse einzelner Studien zusammenzutragen, um größere Mengen an Daten auswerten zu können, besteht bisher nicht (6).

5.1.3 Gerüstdesign

Allgemein gibt es zwei Überlegungen, die die Idee eines im Vergleich zu den konventionellen Gerüstkäppchen gleichmäßiger Schichtstärke verändertes anatomisches Gerüstdesign hervorgerufen haben:

- Gerüstkäppchen gleichmäßiger Schichtstärke führen zwangsläufig in den approximalen Bereichen, an den Randleisten, an den Höckerspitzen und auf

Höhe des anatomischen Äquators zu einer dickeren Verblendschicht als in anderen Bereichen. In-vitro-Studien belegen aber, dass eine gleichmäßige relativ dünne Verblendschicht zu verminderter Eigenspannung innerhalb der Verblendschicht, vor allem an der Grenzschicht zum Gerüstmaterial, führt (33, 37, 45, 48, 59, 102). TINSCHERT empfiehlt eine Verblendschichtstärke zwischen 1-2 mm (105).

- Eine Rissausbreitung wird durch Scherspannungen im Material beschleunigt. Durch Umwandlung von Scherspannung in Druckspannung kann die Rissausbreitung und damit das Materialversagen verhindert werden. Eine körperliche Unterstützung des Verblendmaterials durch das Gerüst soll unter okklusaler Belastung auftretende Scherkräfte innerhalb der Keramik verhindern.

Beide Überlegungen führten zu dem anatomischen Gerüstdesign durch den C-Ring mit zusätzlichen Verstärkungen im Bereich der Höcker und Randleisten (nach Dr. Pishwa).

Eine In-vitro-Studie von MORI testet ein Kronendesign für untere zweite Prämolaren, bei dem das Zirkonoxidgerüst marginal zirkulär eine etwa 1 mm breite Schulter aufweist, die die Verblendung unterstützen soll (74). Die Kronen weisen nach vertikaler Belastung bis zum Frakturereignis eine signifikant höhere Bruchfestigkeit auf, als die Kontrollgruppe ohne die unterstützende Schulter.

Ein ähnliches Design, welches in einer In-vitro-Studie (60) und zwei Fallberichten (66, 86) untersucht wurde, ist für den klinischen Gebrauch passender, weil die opake und damit unästhetische, zervikale Zirkonoxidschulter nicht in den bukkalen Bereich hineinführt, sondern im interproximalen Raum bei einer Höhe von etwa 3,5 mm abschließt. Zudem wurde bei dem Gerüst-Verblend-Design auf eine möglichst gleichmäßige Verblendschicht geachtet. Während LORENZONI und DUFF (60) in vitro keine signifikante Verminderung der Chippingrate, jedoch Chippings kleineren Ausmaßes beobachten konnte, haben MARCHACK et al. (66) und POGOCHEFF et al. (86) nach relativ kurzer Beobachtungszeit von zwölf bzw. sechs Monaten keine Komplikationen in ihren Fallberichten dargestellt.

In einer weiteren In-vitro-Studie von SILVA et al. (99) werden die Standardkappchen, so wie sie für die Kontrollgruppe verwendet werden, ebenfalls mit einer Zirkonoxidschulter im lingualen und approximalen marginalen Bereich modifiziert. Die Schulter ist 2,5 mm hoch. Zusätzlich wird das Gerüst im approximalen Bereich auf 1 mm verstärkt. Nach

zyklischen Belastungstests weisen die modifizierten Gerüste eine signifikant höhere Materialbeständigkeit im Bereich der lingualen Höcker auf. SILVA et al. selbst machen darauf aufmerksam, dass für den klinischen Gebrauch ein weiterentwickeltes Gerüstdesign notwendig ist, das auch die Materialbeständigkeit an den bukkalen Höckern und Kronenflächen verbessert.

In der vorliegenden Studie wurde von Dr. Leo Pishwa versucht ein Gerüstdesign zu entwerfen, das auch bukkal die ästhetischen Vorteile der Vollkeramikkrone verwirklicht. Anstatt einer Zirkonoxidschulter wurde eine C-Ring-förmige Verstärkung des Gerüsts auf der jeweiligen Arbeitsseite (im Oberkiefer in der Regel palatinal, im Unterkiefer bukkal) vorgenommen, die bis in den approximalen Bereich verläuft und das Verblendmaterial unterstützen soll. Über diese Verstärkung konnte noch genügend Verblendmaterial aufgetragen werden, sodass es zu keinen ästhetischen Einbußen kam. Anhand des eingescannten Gegenkiefermodells konnte der Abstand zu den Antagonisten durch gezielte zusätzliche okklusale Verstärkung, etwa an den Höckerspitzen und an den Randleisten, verringert werden, sodass eine etwa gleichmäßige Schicht für die Verblendung möglich war.

5.1.4 Wahl des Auswertungsverfahrens

Die Kaplan-Meier-Schätzung wird bei klinischen Studien genutzt, um Angaben zu Überlebenswahrscheinlichkeiten treffen zu können (12, 14, 51). Die Patienten wurden regelmäßig zu Nachuntersuchungen eingeladen (zwei Wochen, sechs, zwölf und 24 Monate p.i.), um eingetretene Materialversagen auf bestimmte Zeiträume einzugrenzen. Leider ist vor allem zum ein-Jahres-Termin ein Teil der Patienten der Nachuntersuchung ferngeblieben. In vier Fällen von Materialversagen aus Gruppe A, die bei der zwei-Jahres-Nachuntersuchung festgestellt wurden, waren die Patienten nicht zum Termin der ein-Jahres-Nachuntersuchung erschienen, sodass nicht ausgeschlossen werden kann, dass nicht auch schon zu diesem verpassten Termin ein Materialversagen hätte befundet werden können. Nur teilweise haben die Patienten die Fraktur selbst bemerkt. Zwei Patienten haben sich direkt nach dem eingetretenen Frakturereignis (nach drei Monaten und nach neun Monaten) telefonisch gemeldet. Für die Auswertung anhand der Kaplan-Meier-Schätzung wurden die Ereignisse immer auf den Nachuntersuchungs-Zeitpunkt gelegt, der dem Zeitpunkt des Frakturereignisses als nächstes folgte.

Die Überlebenszeitkurven unterscheiden sich in allen drei Betrachtungsfällen signifikant. Um die Wahrscheinlichkeiten für ein Ereignis zu einem bestimmten Zeitpunkt noch präziser beurteilen zu können, müsste man engere Nachuntersuchungszeiträume wählen und müsste strenggenommen Patienten, die einen Nachuntersuchungs-Termin verpasst haben, aus dem weiteren Verlauf der Studie ausschließen, was jedoch zu einer verkleinerten Probandenzahl führen würde.

Bei der vorliegenden Untersuchung lag der Schwerpunkt allerdings vor allem in der klinischen Bewährung von VKK mit anatomisch verändertem Gerüst für einen Zweijahreszeitraum. Die geringen Ungenauigkeiten in der Darstellung des Zeitpunkts, an dem die Ereignisse eingetreten sind, beeinflussen nicht die Gesamtzahl und die Schwere der Ereignisse. Daher halte ich das beschriebene Vorgehen für vertretbar und halte die Kaplan-Meier-Schätzung für das geeignete Auswertungsverfahren, um die Unterschiede zwischen Kontroll- und Studiengruppe darzustellen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Überprüfung der Nullhypothesen

Hypothese 1 (Überleben)

In der Kontrollgruppe konnten von 36 Kronen vier nicht über zwei Jahre oder bis zu ihrem absoluten Misserfolg durch Materialversagen beobachtet werden (vier Drop Outs). Von den 32 verbliebenen Kronen wiesen sechs Kronen Verblendfrakturen auf, die nicht mehr als klinisch akzeptabel angesehen werden konnten (vier Chippings und zwei Verblendfrakturen mit Gerüstfreilegung). Das Überleben bezüglich der Keramik beträgt demnach 81,25%. In der Experimentalgruppe mit den anatomisch modifizierten Gerüsten haben alle Kronen überlebt.

Die statistische Auswertung ergibt mit $p = 0,008$ einen hochsignifikanten Unterschied zwischen den beiden Überlebenszeitkurven. Damit kann die erste Nullhypothese verworfen werden. Die Schlussfolgerung ist, dass die Therapie mit vollkeramischen Verbundkronen auf Zirkonoxid-Basis im Seitenzahnbereich mit anatomisch gestalteten Gerüsten zu einer signifikant verbesserten Überlebensrate des Materials führt, als es mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke der Fall ist.

Hypothese 2 (Häufigkeit des Auftretens von Materialversagen)

In Gruppe A erfolgte bei zehn Kronen mindestens ein Ereignis von Materialversagen. Bei $n = 33$ (drei Drop Outs) ergibt das ein Materialversagen bei 30,3% und eine Unversehrtheit des Materials bei 69,7% der Kronen. In Gruppe B ist kein Materialversagen aufgetreten, d.h. bei 100% der Kronen blieb das Material unversehrt. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist mit $p = 0,0007$ hochsignifikant und somit kann auch die zweite Nullhypothese verworfen werden. Damit ist anzunehmen, dass vollkeramische Verbundkronen auf Zirkonoxid-Basis im Seitenzahnbereich mit anatomisch gestalteten Gerüsten weniger häufig Materialversagen aufweisen als gleichartige Kronen mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke.

Hypothese 3 (klinischer Erfolg)

Die dritte Nullhypothese nimmt an, dass die Kronen aus Gruppe B den gleichen klinischen Erfolg haben wie die aus Gruppe A. Es werden also anders als bei den Hypothesen 1 und 2 auch alle anderen Untersuchungskriterien neben dem Materialversagen betrachtet. In Gruppe A werden daher vier Kronen nicht als klinisch exzellenter Erfolg angesehen, weil sie in dem Kriterium Randspalt/Randübergang mit „Bravo“ bewertet wurden. Bei Gruppe B wurden zwei Kronen ebenfalls in der Kategorie Randspalt/Randübergang abgewertet und zwei in der Kategorie Approximalkontakt. Es ist davon auszugehen, dass die Abwertungen in den beiden Untersuchungskriterien Randspalt/Randübergang und Approximalkontakt weniger ihre Ursache in der Gestaltung des Gerüsts haben, als vielmehr durch die labortechnische Verblendung und den klinischen Behandler zu verantworten sind. In Gruppe A wurden von 33 Kronen 19 in allen Kategorien mit „Alpha“ bewertet und gelten demnach als klinisch exzellenter Erfolg. Das sind 57,6%. In Gruppe B sind es 31 von 35 Kronen, also 88,6%.

Die statistische Auswertung anhand der Kaplan-Meier-Schätzung und dem Log-Rank-Test ergibt eine deutliche Signifikanz mit einem p -Wert von 0,011. Die dritte Nullhypothese wird damit ebenfalls verworfen. Hier ist die Schlussfolgerung, dass vollkeramische Verbundkronen auf Zirkonoxid-Basis im Seitenzahnbereich mit anatomisch gestalteten Gerüsten zu einer insgesamt besseren klinischen Bewährung führen, als entsprechende Kronen mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke.

5.2.2 Weitere Überlegungen anhand der Ergebnisse

Ästhetik

Zur Baseline-Nachuntersuchung vergaben die Patienten aus Gruppe A für die Ästhetik ihrer Krone(n) eine durchschnittliche Benotung (auf einer Skala von 0 - 10) von 9,97. Die Patienten aus Gruppe B benoteten ebenfalls im sehr guten Bereich mit einer Durchschnittsnote von 9,75. Die zahnärztliche Beurteilung lag in Gruppe A durchschnittlich bei 8,53 und in Gruppe B bei 9,71. Die Differenz um mehr als eine Note könnte, neben einem wirklichen Unterschied in der Ästhetik zwischen Gruppe A und B, zur Ursache haben, dass drei verschiedene Zahnärzte mit unterschiedlichen ästhetischen Ansprüchen oder Blickwinkeln die Beurteilungen vornahmen. Genaue Begründungen für Notenabzug wurden bei den Beurteilungen nicht immer dokumentiert und daher lassen sich hier keine weiteren Erkenntnisse gewinnen, als dass trotz der Gerüstverstärkung im teilweise sichtbaren Bereich (teilweise auch bukkale Flächen und Höcker, mesiale Approximalbereiche) die Ästhetik im Durchschnitt mit sehr gut benotet wurde.

Art der Verblendfraktur

In Gruppe A wurden zwölf und in Gruppe B keine Verblendfrakturen festgestellt. Von den zwölf Verblendfrakturen sind zehn als Chippings kategorisiert worden und zwei als Verblendfraktur ohne Gerüstfreilegung. OHLMANN et al. (76) bemerken jedoch, dass eine Einteilung dieser Art nur nach mikroskopischer Untersuchung möglich sei. Da eine mikroskopische Untersuchung der entfernten Kronen in der vorliegenden Studie nicht vorgenommen wurde, könnte es sein, dass eine dünne Schicht auf dem vermeintlich freigelegten Gerüst verblieben ist, so wie es FISCHER et al. (40) und AL-DOHAN et al. (5) in ihren In-vitro-Studien häufig beobachteten, und dass es sich somit auch in diesen beiden Fällen eigentlich um Chippings handelt. Chippings bestreiten in der vorliegenden Untersuchung demnach mit mindestens 83,3% den Hauptanteil aller aufgetretenen Materialversagen, was den Ergebnissen zahlreicher Studien entspricht (4, 46).

Der Fokus dieser Studie lag allerdings nicht auf der Einteilung der aufgetretenen Verblendfrakturen, sondern vielmehr auf der allgemeinen Anzahl an aufgetretenem Materialversagen und dessen Beurteilung nach klinischer Akzeptabilität oder absolutem Misserfolg. Dass bei der Ergebnisdarstellung trotzdem weiterhin von Chippings bzw.

Verblendfrakturen mit Gerüstfreilegung die Rede ist, dient einzig dem Zweck, das Ausmaß des eingetretenen Ereignisses besser vermitteln zu können und den Eindruck des klinischen Nachuntersuchers darzustellen.

Lokalisation der Chippings

Tabelle 14 ist zu entnehmen, dass von den zwölf aufgetretenen Materialversagen in Gruppe A zehn (83,3%) im Zusammenhang mit Arbeitskontakten standen. In acht Fällen ist der Abhang des äußeren Arbeitshöckers beteiligt und zwei Mal die Randleiste. In diesen Bereichen wäre nach dem Gerüstmodifikationsprinzip aus Gruppe B die Verblendung durch die C-Ring-Verstärkung unterstützt gewesen. Nur zwei Chippings traten im Bereich der äußeren Abhänge von Scherhöckern auf.

Okklusale Fehlbelastungen und Einschleifen

Bei fünf der aufgetretenen Chippings und zwar in beiden Fällen von Chippings an den äußeren Abhängen der Scherhöcker, einem Chipping an der Randleiste und zwei Chippings an den äußeren Abhängen der Arbeitshöcker, war zur Baseline-Nachuntersuchung aufgefallen, dass an den Kronen unphysiologische Kontakte bei exzentrischer Belastung aufgetreten sind, die durch Einschleifen behoben bzw. bei zwei Kronen verringert wurden, sodass eine Gruppenführung entstand. Bei der Baseline-Nachuntersuchung musste in Gruppe A insgesamt einmal die statische Okklusion und 11-mal die dynamische Okklusion korrigiert werden. In Gruppe B mussten bei sechs Kronen Korrekturen der dynamischen Okklusion vorgenommen werden. Alle Korrekturmaßnahmen (schleifen und polieren) wurden unter Wasserkühlung vorgenommen. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass Einschleif- oder Politurmaßnahmen nach dem Zementieren zu einer Verringerung oder dem Verlust der Druckspannung an der Oberfläche geführt und einer Rissausbreitung unter Kontaktbelastung damit Vorschub geleistet haben. Möglicherweise steht ein Materialversagen mit einem statischen oder okklusalen Störkontakt für kurze Zeit nach der Eingliederung oder auch mit den Rekonturierungsmaßnahmen im Zusammenhang. Einen entsprechenden Nachweis für diese These kann die vorliegende Untersuchung jedoch nicht bieten. Um diese Zusammenhänge zu untersuchen, müsste in einer weiteren Studie eine genauere Dokumentation über die Störkontakte und eine exakte Protokollierung der Einschleifmaßnahmen vorgenommen werden.

6 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden klinischen Untersuchung von Cercon® - Kronen im Seitenzahnbereich lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Weder bei den Kronen mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke noch bei den Kronen mit anatomisch modifiziertem Gerüst traten Gerüstfrakturen auf.
- Die Beobachtung aus zahlreichen Studien, dass Verblendfrakturen, allen voran Chippings, den Großteil der Komplikationen und Misserfolge darstellen, bestätigte sich für die Kontrollgruppe mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke.
- Eine anatomische Gerüstgestaltung mittels einer C-Ring-Verstärkung (nach Dr. Pishwa) an den bukkalen bzw. oralen Flächen der Arbeitshöcker auf Höhe des anatomischen Äquators bis in den Approximalraum hinein und gezielte okklusale höcker- und randleistenunterstützende Gerüstverstärkung
 - führt nach zwei Jahren zu einer **insgesamt besseren klinischen Bewährung** als gleichartige Kronen mit Gerüsten gleichmäßiger Schichtstärke.
 - führt zu **hochsignifikant weniger Materialversagen**, sowohl was die Häufigkeit von Materialversagen jeglicher Art betrifft, als auch das Auftreten von Materialversagen, die eine Erneuerung der Krone erforderlich machen.
 - kann auch in sichtbaren Bereichen vorgenommen werden, **ohne ästhetische Einbußen** dabei in Kauf nehmen zu müssen.
 - ermöglicht bessere klinische Erfolge, ohne andere klinische Schritte wie Präparationsform, Provisorium, Abformung oder Befestigungsart verändern zu müssen. Lediglich ein Silikon-Checkbiss für die Datenerfassung der Antagonisten ist zusätzlich erforderlich.

Aufgrund der guten Ergebnisse mit dem hier vorgestellten Prinzip der anatomischen Gerüstgestaltung mit C-Ring nach Dr. Pishwa sollte ein generelles Umdenken bei der labortechnischen Gerüstkonstruktion in Erwägung gezogen werden.

7 Zusammenfassung

Während es bei vollkeramischen Verbundkronen nur noch in Ausnahmefällen zu Gerüstfrakturen kommt, stellen Verblendfrakturen, vor allem Chippings, klinisch noch einen wesentlichen Anteil an Komplikationen dar.

In der vorliegenden prospektiven Untersuchung wurde die klinische Bewährung eines anatomisch veränderten Gerüsts über zwei Jahre untersucht. Alle Kronen wurden nach dem Cercon® - Verfahren (DeguDent GmbH, Hanau) hergestellt. Für die Kontrollgruppe wurden, so wie es bislang üblich ist, Gerüste mit gleichmäßiger Schichtstärke verwendet. Als Werkstoff diente Cercon® base bzw. Cercon® base colored, ein Rohling aus vorgesintertem Y-TZP-A. Das Prinzip der anatomischen Gerüstgestaltung, so wie es für die Experimentalgruppe in der vorliegenden Studie angewandt wurde, sieht vor, in besonders starken Kaubelastungen ausgesetzten Bereichen die Verblendkeramik zu unterstützen und gleichzeitig eine möglichst gleichmäßige Schichtstärke für die Verblendung zu erzielen. Eine Verminderung der Ästhetik soll durch das veränderte Design aber nicht in Kauf genommen werden müssen. Die Gerüstköppchen der Studiengruppe wurden virtuell (Cercon® art V 2.2) durch okklusale Verstärkung höcker- und randleistenunterstützend modelliert (Abb. 4). Zusätzlich erhielten tragende Höcker an den bukkalen bzw. oralen Flächen auf Höhe des anatomischen Äquators bis in den Approximalraum hinein eine Verstärkung durch einen C-förmigen Ring (C-Ring nach Dr. Pishwa) (Abb. 5).

In der Kontroll- wie auch in der Experimentalgruppe wurden jeweils 36 Kronen in dem Seitenzahnbereich eingegliedert, wobei höchstens zwei Kronen pro Patient in die Studie aufgenommen wurden. Die klinische Behandlung fand in den Studentenkursen der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre, der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité- Universitätsmedizin Berlin statt. Die Gerüstkonstruktionen und die Verblendungen (Cercon® ceram kiss) wurden in zahntechnischen Laboren vorgenommen, während die Gerüste zentral von der Firma DeguDent hergestellt wurden.

Nach der Eingliederung in den Studentenkursen wurden die Patienten nach zwei Wochen, nach sechs Monaten, nach einem Jahr und nach zwei Jahren zur Nachuntersuchung durch einen Zahnarzt einbestellt. Das Hauptaugenmerk lag in der

Kontrolle der Materialbeständigkeit. Aber es wurden ebenso die gingivale und parodontale Gesundheit, die statische und dynamische Okklusion, weitere klinische Befunde (Approximalkontakte, Randübergang, Perkussion, Zahnlockerung, Sensibilität) und die Patientenzufriedenheit überprüft.

Aus allen Bewertungen der verschiedenen Untersuchungskriterien ergaben sich für die Kronen die drei Kategorien klinisch exzellent, klinisch akzeptabel und klinisch nicht akzeptabel und damit erneuerungsbedürftig.

In der Studiengruppe wurden 88,6% der Kronen als klinisch exzellent eingestuft. In der Kontrollgruppe waren es nur 57,6% der Kronen.

Die durchschnittliche Benotung der Ästhetik der Kronen lag für beide Gruppen im sehr guten Bereich.

Während des Beobachtungszeitraumes von zwei Jahren traten weder in der Kontroll- noch in der Studiengruppe Gerüstfrakturen auf.

Zwischen Kontroll- und Studiengruppe konnten aber hochsignifikante Unterschiede bezüglich der Materialbeständigkeit der Verblendkeramik beobachtet werden:

- In der Studiengruppe wurde bei keiner Krone ein Materialversagen festgestellt.
- In der Kontrollgruppe traten innerhalb der zwei Jahre bei 12,1% der Kronen Verblendfrakturen auf, die noch als klinisch akzeptabel angesehen wurden. 18,2% der Kronen aus der Kontrollgruppe wiesen jedoch Verblendfrakturen auf, die die Funktion und/oder die Ästhetik in der Art beeinträchtigten, dass eine Kronenerneuerung notwendig erschien. Insgesamt trat also bei 30,3% der Kronen ein Materialversagen auf. Der Hauptanteil der Materialversagen bestand aus Chippings, nur in zwei von zwölf Fällen schien die komplette Verblendschicht verloren gegangen zu sein, was aber mikroskopisch nicht kontrolliert wurde. Sprünge oder Risse wurden nicht beobachtet.

Das Prinzip der hier angewendeten anatomischen Gerüstgestaltung, hat sich in der vorliegenden Untersuchung klinisch bewährt. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass durch die Gerüstmodifikation eine hochsignifikante Verbesserung in der Materialbeständigkeit erzielt werden konnte, ohne ästhetische Einbußen in Kauf nehmen zu müssen.

8 Summary

Bulk fractures only occur on very rare occasions in bilayered all-ceramic crowns, whereas veneer fractures, above all chippings, still present a frequent amount of clinical complications.

The purpose of the current prospective study was to examine the clinical performance of an anatomically modified framework for a period of two years. All crowns were manufactured following the Cercon process (DeguDent GmbH, Hanau). As is common practice, the frameworks for the control group were made of even thicknesses of Y-TZP-A (Cercon® base or Cercon® base colored) and therefore not modified. The crowns for the experimental group were fabricated with a modified framework design. The principle of the modification was to support the veneering of ceramic in areas of stronger load during mastication and to achieve a nearly even veneering layer thickness, if possible without loss of aesthetics. The framework copings of the experimental group were constructed with the aid of the software program Cercon® art V 2.2. Therefore the framework reinforcements were placed in the cusp and ridge area (Fig. 4) and the coping walls were built up with a C-shaped ring along the equator line of the functional cusps and the proximal region (Fig. 5).

There were 36 crowns fabricated for the lateral tooth area of both the controlled and the experimental group, however, not more than two crowns per patient were included in the study. The clinical treatments took place in the student courses of the Department of Prosthetic Dentistry of the Clinic for Dental and Oral Medicine at the Charité (Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre, der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité- Universitätsmedizin Berlin). The framework constructions and the veneering (Cercon® ceram kiss) were made in dental laboratories whereas the milling of the framework copings was produced centrally by the DeguDent GmbH.

Having integrated the crowns in the student courses the patients were reviewed by a dentist after two weeks, after 6 months, after one year and after 2 years. The focus for the examination was to control the reliability of the material. Further to this the patients were also checked for gingival and periodontal health, static and dynamic occlusion, points of proximal contact and transitional zones between tooth and crown. Endodontic

reactions, tooth mobility and sensitivity as well as patient satisfaction were also controlled and documented.

With these evaluations it was possible to classify the crowns into the following categories: clinically excellently, clinically acceptable or clinically unacceptable, with the consequence that the crown had to be replaced.

In the experimental group 88.6% of the crowns were classed as clinically excellent. In the control group however, only 57.6% of the crowns were categorized at this level.

For both groups the average mark for the aesthetics of the crowns fell in the range of very good (excellent).

No bulk fractures were observed in the experimental or in the control group during the two-year period of evaluation.

Despite this, highly significant differences between both groups concerning the reliability of the veneering material were found:

- In the experimental group no single material failure was ascertained.
- In the control group veneering fractures occurred in 30.3% of all crowns. Among these 12.1% of fractures were classified as clinically acceptable and the crowns could remain in situ. The remaining 18.2% showed more severe veneering fractures meaning that the functional and/or the aesthetic requirements were affected and the crown had to be removed. The majority of the veneering fractures were noted as chippings. Only two of the twelve cases of material failure showed that a delamination of the whole veneering layer had taken place, however this was not microscopically controlled. No cracks were observed.

The principle of the anatomically modified framework used in the trials has been clinically proven. The results of the study show that this framework design is able to unite a highly significant improvement of the material reliability as well as retaining the aesthetic requirements for all-ceramic crowns.

Abkürzungsverzeichnis

VMK	Keramisch verblendete Metallkrone(n)
VKK	Vollkeramikkrone(n)
WAK	Wärmeausdehnungskoeffizient
Y-TZP-A	Yttria Oxide stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals doped with Alumina

Literaturverzeichnis

1. Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent Mater* 21 (10): 984-91, 2005.
2. Aboushelib MN, Feilzer AJ, de Jager N, Kleverlaan CJ. Prestresses in bilayered all-ceramic restorations. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 87 (1): 139-45, 2008.
3. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. *Dent Mater*. Vol. 22. England, pp. 857-63, 2006.
4. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil* 37 (8): 641-52, 2010.
5. Al-Dohan HM, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME, Lang BR. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. *J Prosthet Dent* 91 (4): 349-55, 2004.
6. Anusavice KJ. Standardizing failure, success, and survival decisions in clinical studies of ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater*. Vol. 28. England, pp. 102-11, 2012.
7. Anusavice KJ, DeHoff PH, Hojjatie B, Gray A. Influence of tempering and contraction mismatch on crack development in ceramic surfaces. *J Dent Res* 68 (7): 1182-7, 1989.
8. Ariko K. [Evaluation of the marginal fitness of tetragonal zirconia polycrystal all-ceramic restorations]. *Kokubyo Gakkai Zasshi* 70 (2): 114-23, 2003.
9. Awliya W, Oden A, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME. Shear bond strength of a resin cement to densely sintered high-purity alumina with various surface conditions. *Acta Odontol Scand* 56 (1): 9-13, 1998.
10. Baldissara P, Llukacej A, Ciocca L, Valandro FL, Scotti R. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent* 104 (1): 6-12, 2010.
11. Beuer F, Aggstaller H, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen J. Marginal and internal fits of fixed dental prostheses zirconia retainers. *Dent Mater*. Vol. 25. England, pp. 94-102, 2009.
12. Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen JA. Three-year clinical prospective evaluation of zirconia-based posterior fixed dental prostheses (FDPs). *Clin Oral Investig* 13 (4): 445-51, 2009.
13. Bindl A, Mormann WH. Fit of all-ceramic posterior fixed partial denture frameworks in vitro. *Int J Periodontics Restorative Dent* 27 (6): 567-75, 2007.
14. Boening K, Ullmann U, Wolf A, Lazarek K, Walter M. Dreijährige klinische Bewährung konventionell zementierter Einzelkronen aus Lithiumdisilikat-Keramik. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 61 (11): 604-11, 2006.
15. Bonfante EA, da Silva NR, Coelho PG, Bayardo-Gonzalez DE, Thompson VP, Bonfante G. Effect of framework design on crown failure. *Eur J Oral Sci* 117 (2): 194-9, 2009.
16. Casucci A, Monticelli F, Goracci C, Mazzitelli C, Cantoro A, Papacchini F, Ferrari M. Effect of surface pre-treatments on the zirconia ceramic-resin cement microtensile bond strength. *Dent Mater*. Vol. 27. England, pp. 1024-30, 2011.

17. Cehreli MC, Kokat AM, Akca K. CAD/CAM Zirconia vs. slip-cast glass-infiltrated Alumina/Zirconia all-ceramic crowns: 2-year results of a randomized controlled clinical trial. *J Appl Oral Sci* 17 (1): 49-55, 2009.
18. Chan C, Weber H. Plaque retention on teeth restored with full-ceramic crowns: a comparative study. *J Prosthet Dent* 56 (6): 666-71, 1986.
19. Charles RJ. Static Fatigue of Glass. I. *Journal of Applied Physics*, Vol. 29: 1549-1553, 1958.
20. Charles RJ. Static Fatigue of Glass. II. *Journal of Applied Physics*, Vol. 29: 1554-1560, 1958.
21. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN. Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res* 23 (1): 45-61, 1989.
22. Claus H. [Vita In-Ceram, a new procedure for preparation of oxide-ceramic crown and bridge framework]. *Quintessenz Zahntech* 16 (1): 35-46, 1990.
23. Coelho PG, Bonfante EA, Silva NR, Rekow ED, Thompson VP. Laboratory simulation of Y-TZP all-ceramic crown clinical failures. *J Dent Res* 88 (4): 382-6, 2009.
24. Coelho PG, Silva NR, Bonfante EA, Guess PC, Rekow ED, Thompson VP. Fatigue testing of two porcelain-zirconia all-ceramic crown systems. *Dent Mater* 25 (9): 1122-7, 2009.
25. Coffey JP, Anusavice KJ, DeHoff PH, Lee RB, Hojjatie B. Influence of contraction mismatch and cooling rate on flexural failure of PFM systems. *J Dent Res* 67 (1): 61-5, 1988.
26. de Oyague RC, Monticelli F, Toledano M, Osorio E, Ferrari M, Osorio R. Influence of surface treatments and resin cement selection on bonding to densely-sintered zirconium-oxide ceramic. *Dent Mater*. Vol. 25. England, pp. 172-9, 2009.
27. DeguDent. Cercon® eye Das Scanmodul im System Cercon® smart ceramics. Hanau: DeguDent GmbH, 2006.
28. DeguDent. Cercon® brain Gebrauchsanweisung. Hanau: DeguDent GmbH, 2005.
29. DeguDent. Cercon® heat Gebrauchsanweisung. Hanau: DeguDent GmbH, 2005.
30. DeguDent. Gebrauchsanweisung Cercon base/Cercon base light/Cercon base medium/Cercon base colored. Hanau: DeguDent GmbH, 2005.
31. DeguDent. Produktbeschreibung und Gebrauchsanweisung für die Verblendkeramik Cercon® ceram kiss. Hanau: DeguDent GmbH, 2005.
32. Della Bona A, Kelly JR. The clinical success of all-ceramic restorations. *J Am Dent Assoc* 139 Suppl: 8S-13S, 2008.
33. Deng Y, Lawn BR, Lloyd IK. Characterization of damage modes in dental ceramic bilayer structures. *J Biomed Mater Res* 63 (2): 137-45, 2002.
34. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater* 24 (3): 299-307, 2008.
35. Derand T, Molin M, Kleven E, Haag P, Karlsson S. Bond strength of luting materials to ceramic crowns after different surface treatments. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 16 (1): 35-8, 2008.
36. Drummond JL, King TJ, Bapna MS, Koperski RD. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. *Dent Mater* 16 (3): 226-33, 2000.

37. Esquivel-Upshaw JF, Anusavice KJ. Ceramic design concepts based on stress distribution analysis. *Compend Contin Educ Dent* 21 (8): 649-52, 654; quiz 656, 2000.
38. Etman MK, Woolford MJ. Three-year clinical evaluation of two ceramic crown systems: a preliminary study. *J Prosthet Dent* 103 (2): 80-90, 2010.
39. Fairhurst CW, Anusavice KJ, Hashinger DT, Ringle RD, Twiggs SW. Thermal expansion of dental alloys and porcelains. *J Biomed Mater Res* 14 (4): 435-46, 1980.
40. Fischer J, Grohmann P, Stawarczyk B. Effect of zirconia surface treatments on the shear strength of zirconia/veneering ceramic composites. *Dent Mater J* 27 (3): 448-54, 2008.
41. Fleming GJ, El-Lakwah SF, Harris JJ, Marquis PM. The influence of interfacial surface roughness on bilayered ceramic specimen performance. *Dent Mater* 20 (2): 142-9, 2004.
42. Ghazy MH, Madina MM, Aboushelib MN. Influence of Fabrication Techniques and Artificial Aging on the Fracture Resistance of Different Cantilever Zirconia Fixed Dental Prostheses. *J Adhes Dent* 14 (2): 161-6, 2012
43. Groten M, Huttig F. The performance of zirconium dioxide crowns: a clinical follow-up. *Int J Prosthodont* 23 (5): 429-31, 2010
44. Guazzato M, Proos K, Sara G, Swain MV. Strength, reliability, and mode of fracture of bilayered porcelain/core ceramics. *Int J Prosthodont* 17 (2): 142-9, 2004.
45. Guazzato M, Walton TR, Franklin W, Davis G, Bohl C, Klineberg I. Influence of thickness and cooling rate on development of spontaneous cracks in porcelain/zirconia structures. *Aust Dent J* 55 (3): 306-10, 2010.
46. Heintze SD, Rousson V. Survival of zirconia- and metal-supported fixed dental prostheses: a systematic review. *Int J Prosthodont* 23 (6): 493-502, 2010.
47. Heinzmann JL. Verhalten von Schmelz, Amalgam und gepressten Glaskeramiken in einem in vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme, 1992.
48. Hsueh CH, Thompson GA, Jadaan OM, Wereszczak AA, Becher PF. Analyses of layer-thickness effects in bilayered dental ceramics subjected to thermal stresses and ring-on-ring tests. *Dent Mater* 24 (1): 9-17, 2008.
49. Isgro G, Kleverlaan CJ, Wang H, Feilzer AJ. Thermal dimensional behavior of dental ceramics. *Biomaterials* 25 (12): 2447-53, 2004.
50. Isgro G, Wang H, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. The effects of thermal mismatch and fabrication procedures on the deflection of layered all-ceramic discs. *Dent Mater* 21 (7): 649-55, 2005.
51. Kaplan EL, Meier P. Nonparametric estimation from incomplete observations. *J Am Stat Assoc* 53: 457-481, 1958.
52. Kappert HF, Geis-Gerstorfer, J. Vollkeramik Werkstoffkunde - Zahntechnik - klinische Erfahrung. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, 1996.
53. Kappert HF, Krahe, M. Dentalkeramiken und zahntechnische Verfahren zur Herstellung von keramischen Zahnersatz in der Übersicht. *Quintessenz Zahntech* 27: 666-704, 2001.
54. Kelly JR. Developing meaningful systematic review of CAD/CAM reconstructions and fiber-reinforced composites. *Clin Oral Implants Res* 18: 205-17, 2007.
55. Kerschbaum T, Paszyna C, Klapp S, Meyer G. [Failure-time and risk analysis of fixed partial dentures]. *Dtsch Zahnärztl Z* 46 (1): 20-4, 1991.

56. Komine F, Iwai T, Kobayashi K, Matsumura H. Marginal and internal adaptation of zirconium dioxide ceramic copings and crowns with different finish line designs. *Dent Mater J* 26 (5): 659-64, 2007.
57. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater* 15 (6): 426-33, 1999.
58. Land MF, Hopp CD. Survival rates of all-ceramic systems differ by clinical indication and fabrication method. *J Evid Based Dent Pract* 10 (1): 37-8, 2010
59. Lawn BR, Deng Y, Thompson VP. Use of contact testing in the characterization and design of all-ceramic crownlike layer structures: a review. *J Prosthet Dent* 86 (5): 495-510, 2001.
60. Lorenzoni FC, Martins LM, Silva NR, Coelho PG, Guess PC, Bonfante EA, Thompson VP, Bonfante G. Fatigue life and failure modes of crowns systems with a modified framework design. *J Dent* 38 (8): 626-34, 2010.
61. Lou BY, Chao QY, Wang M, Lu Z, Chao YL. [Short-term follow-up study of Cercon all-ceramic crowns and bridges]. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 22 (5): 402-3, 2004.
62. Luthy H, Loeffel O, Hammerle CH. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater*. Vol. 22. England, pp. 195-200, 2006.
63. Mackert JR, Jr., Evans AL. Effect of cooling rate on leucite volume fraction in dental porcelains. *J Dent Res* 70 (2): 137-9, 1991.
64. Magne P, Versluis A, Douglas WH. Effect of luting composite shrinkage and thermal loads on the stress distribution in porcelain laminate veneers. *J Prosthet Dent* 81 (3): 335-44, 1999.
65. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent* 35 (11): 819-26, 2007.
66. Marchack BW, Futatsuki Y, Marchack CB, White SN. Customization of milled zirconia copings for all-ceramic crowns: a clinical report. *J Prosthet Dent* 99 (3): 169-73, 2008.
67. Marx R, Jungwirth F, Walter PO. Threshold intensity factors as lower boundaries for crack propagation in ceramics. *Biomed Eng Online* 3 (1): 41, 2004.
68. Marx R, Weber M. *Vollkeramische Kronen- und Brückenmaterialien-Eigenschaften und Anforderungen*, 5. erg. Auflage. Aachen: Universitätsklinikum Aachen, Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Lehr- und Forschungsgebiet Zahnärztliche Werkstoffkunde, 27-35, 2001.
69. McLean JW. Ceramics in clinical dentistry. *Br Dent J* 164 (6): 187-94, 1988.
70. McLean JW. The failed restoration: causes of failure and how to prevent them. *Int Dent J* 40 (6): 354-8, 1990.
71. McLean JW, Hughes TH. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br Dent J* 119 (6): 251-67, 1965.
72. Mecholsky JJ, Jr. Fracture mechanics principles. *Dent Mater* 11 (2): 111-2, 1995.
73. Mochales C, Maerten A, Rack A, Cloetens P, Mueller WD, Zaslansky P, Fleck C. Monoclinic phase transformations of zirconia-based dental prostheses, induced by clinically practised surface manipulations. *Acta Biomater*. Vol. 7. England, pp. 2994-3002, 2011.
74. Mori K. [Influence of the design of zirconia framework on the fracture strength of veneering porcelain]. *Kokubyo Gakkai Zasshi* 77 (1): 67-70, 2010.
75. O'Brien WJ. Magnesia ceramic jacket crowns. *Dent Clin North Am* 29 (4): 719-23, 1985.

76. Ohlmann B, Rammelsberg P, Schmitter M, Schwarz S, Gabbert O. All-ceramic inlay-retained fixed partial dentures: preliminary results from a clinical study. *J Dent* 36: 692-6, 2008.
77. Ortorp A, Kihl ML, Carlsson GE. A 3-year retrospective and clinical follow-up study of zirconia single crowns performed in a private practice. *J Dent* 37 (9): 731-6, 2009.
78. Oyague RC, Monticelli F, Toledano M, Osorio E, Ferrari M, Osorio R. Effect of water aging on microtensile bond strength of dual-cured resin cements to pre-treated sintered zirconium-oxide ceramics. *Dent Mater* 25 (3): 392-9, 2009.
79. Ozcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 19 (8): 725-31, 2003.
80. Pera P, Conserva E, Pin D, Acquaviva A, Riboldi A, Mariottini GL, Pane L. Cytotoxicity in vitro analysis of ceramic materials for "metal free" prosthetic substructures. *Minerva Stomatol* 54 (6): 363-71, 2005.
81. Peterson IM, Wuttiaphan S, Lawn BR, Chyung K. Role of microstructure on contact damage and strength degradation of micaceous glass-ceramics. *Dent Mater* 14 (1): 80-9, 1998.
82. Piconi C, Burger W, Richter HG, Cittadini A, Maccauro G, Covacci V, Bruzzese N, Ricci GA, Marmo E. Y-TZP ceramics for artificial joint replacements. *Biomaterials* 19 (16): 1489-94, 1998.
83. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 20 (1): 1-25, 1999.
84. Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. The shear bond strength between luting cements and zirconia ceramics after two pre-treatments. *Oper Dent* 30 (3): 382-8, 2005.
85. Pjetursson BE, Sailer I, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I: Single crowns. *Clin Oral Implants Res* 18 Suppl 3: 73-85, 2007.
86. Pogoncheff CM, Duff RE. Use of zirconia collar to prevent interproximal porcelain fracture: a clinical report. *J Prosthet Dent* 104 (2): 77-9, 2010.
87. Poss S. CAD/CAM restorations: aesthetic all-ceramics, predictable fit. *Dent Today* 26 (2): 86, 88, 2007.
88. Presswood RG, Skjonsby HS, Hopkins G, Presswood TL, Pendleton M. A base metal alloy for ceramo-metal restorations. *J Prosthet Dent* 44 (6): 624-9, 1980.
89. Reill M, Rosentritt M, Handel G. Fractographic Analysis of Zirconia Molar Crowns-In Vitro. In: 42nd annual meeting of IADR-Continental European and Israeli Divisions (Sept 26th - 29th, 2007), Thessaloniki, Greece, 2007.
90. Rinke S. Cercon smart ceramics – das CAM-gestützte Vollkeramiksystem. *Klinischer Leitfaden*. Hanau/Klein-Auheim, 2003.
91. Rosentritt M, Behr M, Thaller C, Rudolph H, Feilzer A. Fracture performance of computer-aided manufactured zirconia and alloy crowns. *Quintessence Int* 40 (8): 655-62, 2009.
92. Rosentritt M, Hmaidouch R, Behr M, Handel G, Schneider-Feyrer S. Fracture resistance of zirconia FPDs with adhesive bonding versus conventional cementation. *Int J Prosthodont* 24 (2): 168-71, 2011.
93. Ryge G, Snyder M. Evaluating the clinical quality of restorations. *J Am Dent Assoc* 87 (2): 369-77, 1973.

94. Sailer I, Feher A, Filser F, Gauckler LJ, Luthy H, Hammerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 20 (4): 383-8, 2007.
95. Sailer I, Feher A, Filser F, Luthy H, Gauckler LJ, Scharer P, Franz Hammerle CH. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. *Quintessence Int* 37 (9): 685-93, 2006.
96. Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S, Hammerle CH. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up. *Int J Prosthodont* 22 (6): 553-60, 2009.
97. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res* 18 Suppl 3: 86-96, 2007.
98. Shell JS, Nielsen JP. Study of the bond between gold alloys and porcelain. *J Dent Res* 41: 1424-37, 1962.
99. Silva NR, Bonfante EA, Rafferty BT, Zavanelli RA, Rekow ED, Thompson VP, Coelho PG. Modified Y-TZP core design improves all-ceramic crown reliability. *J Dent Res* 90 (1): 104-8, 2011.
100. Silva NR, Bonfante EA, Zavanelli RA, Thompson VP, Ferencz JL, Coelho PG. Reliability of metaloceramic and zirconia-based ceramic crowns. *J Dent Res* 89 (10): 1051-6, 2010.
101. Spear FM. The metal-free practice: myth? Reality? Desirable goal? *J Esthet Restor Dent* 13 (1): 59-67, 2001.
102. Swain MV. Unstable cracking (chipping) of veneering porcelain on all-ceramic dental crowns and fixed partial dentures. *Acta Biomater* 5 (5): 1668-77, 2009.
103. Taskonak B, Borges GA, Mecholsky JJ, Jr., Anusavice KJ, Moore BK, Yan J. The effects of viscoelastic parameters on residual stress development in a zirconia/glass bilayer dental ceramic. *Dent Mater* 24 (9): 1149-55, 2008.
104. Tinschert J, Natt, G. Oxidkeramiken und CAD/CAM-Technologien. Köln: J. Tinschert / G.Natt, 2007.
105. Tinschert J, Schulze KA, Natt G, Latzke P, Heussen N, Spiekermann H. Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *Int J Prosthodont* 21 (3): 217-22, 2008.
106. Tsalouchou E, Cattell MJ, Knowles JC, Pittayachawan P, McDonald A. Fatigue and fracture properties of yttria partially stabilized zirconia crown systems. *Dent Mater* 24 (3): 308-18, 2008.
107. Tsukakoshi M, Shinya A, Gomi H, Lassila LV, Vallittu PK. Effects of dental adhesive cement and surface treatment on bond strength and leakage of zirconium oxide ceramics. *Dent Mater J* 27 (2): 159-71, 2008.
108. Tsumita M, Kokubo Y, Ohkubo C, Sakurai S, Fukushima S. Clinical evaluation of posterior all-ceramic FPDs (Cercon): a prospective clinical pilot study. *J Prosthodont Res*. Vol. 54. Netherlands, pp. 102-5
109. Vieira AP, Andrade JS, Jr., Herrmann HJ. Subcritical crack growth: the microscopic origin of Paris' law. *Phys Rev Lett* 100 (19): 195503, 2008.
110. Vollmann M. The innovative DeguDent all-ceramic system: benchmark for zirconia processing. *Int J Comput Dent* 7 (3): 279-91, 2004.
111. Weber H, Geis-Gerstorfer J, Simonis A, Diehl J, Frank G. Complete and glass-ceramic crowns clinically considered. *Zahnarztl Mitt* 77 (21): 2416-21, 1987.
112. Weibull W. A statistical distribution function of wide applicability. *J Applied Mechanics* 9: 293, 1951.

113. Weiss PA. New design parameters: utilizing the properties of nickel-chromium superalloys. *Dent Clin North Am* 21 (4): 769-85, 1977.
114. White SN, Zhao XY, Zhaokun Y, Li ZC. Cyclic mechanical fatigue of a feldspathic dental porcelain. *Int J Prosthodont* 8 (5): 413-20, 1995.
115. Wiederhorn SM, Freimann SW, E.R. F, J. SC. Effects of water and other dielectrics on crack growth. *J Mat Sci* 17: 265, 1983.
116. Yilmaz H, Aydin C, Gul BE. Flexural strength and fracture toughness of dental core ceramics. *J Prosthet Dent* 98 (2): 120-8, 2007.
117. Zhang XF, Zheng H, Han DW. [Effect of nano-silica coating on bonding strength of zirconia ceramics to dentin]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 18 (2): 198-202, 2009.
118. Zhang Y, Lawn BR, Rekow ED, Thompson VP. Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 71 (2): 381-6, 2004.

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Wolfgang B. Freesmeyer für die Überlassung des Dissertationsthemas und seine Unterstützung zur Durchführung der Studie.

Ich danke Frau PD Dr. Ingrid Peroz, dass sie die Leitung der Studie übernommen hat, als Prof. Dr. Wolfgang B. Freesmeyer verstorben war und mir so ermöglicht hat, mit meiner Dissertation fortzuführen.

Besonders danken möchte ich meinem Betreuer Dr. Leo Pishwa, für die Idee des in dieser Studie untersuchten Gerüstdesigns sowie für die stete Unterstützung und die immer freundliche konstruktive Kritik.

Herrn R. Hoey und Dr. Leo Pishwa danke ich für die Unterstützung bei der Herstellung und für die Bereitstellung des Bildmaterials.

Ich danke Utz Hetzelberger und der Firma DeguDent GmbH (Hanau) für die gute Zusammenarbeit bei der Herstellung der Kronen.

Vanessa Steinert und Johanna Pätel danke ich für die Hilfe beim Verstehen statistischer Zusammenhänge und der statistischen Auswertung mit Excel.

Ich danke Kim Klelund und meiner Mutter für ihren Einsatz beim Korrekturlesen.

Vor allem aber möchte ich meinem Mann Roland danken, der mich immer wieder motiviert hat, die Arbeit zu Ende zu führen. Nur durch seine tatkräftige Unterstützung und das Schaffen vieler Freiräume, konnte die Arbeit trotz unseres zweifachen Familienzuwachses gelingen.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste von Elisa Rörster

- Kurzvortrag über Zwischenergebnisse der in der Dissertation beschriebenen Studie:
L. Pishwa, E. Rörster, W.B. Freesmeyer (†), U.Hetzelberger. Bewährung von vollkeramischen Kronen im Seitenzahnggebiet mit und ohne anatomische Gerüstgestaltung – Vorläufige Ergebnisse einer prospektiven kontrollierten klinischen Studie. 60. Jahrestagung der DGPro, Hamburg, Deutschland, 12.-14. Mai 2011

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Elisa Rörster, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema „Untersuchung der klinischen Bewährung von vollkeramischen Cercon®-Kronen mit anatomischer Gerüstgestaltung – Eine prospektive Studie“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Datum

Unterschrift