

Practicability of a chairside approach for characterizing CAD/CAM resin-based composites

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med. dent.

An der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von: Dominic Gold

Geburtsdatum: 23.09.1989

Geburtsort: Leipzig

angefertigt an: Universität Leipzig, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und
Werkstoffkunde

Betreuer: Prof. Dr. med. dent. Sebastian Hahnel
PD Dr. med. dent. Angelika Rauch, M.Sc.

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 19.07.22

für meine Eltern, Großeltern und Geschwister

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	- 4 -
1.1. Ästhetisches Empfinden	- 4 -
1.2. Zahnhartsubstanzdefekte	- 5 -
1.3. Zahnfarbene Werkstoffe	- 5 -
1.3.1. Keramiken	- 5 -
1.3.2. Zahnfarbbestimmung	- 7 -
1.3.3. Indirekte Komposite	- 9 -
1.4. Versuchsaufbau.....	- 11 -
2. Publikationsmanuskript	- 13 -
3. Zusammenfassung der Arbeit	- 18 -
4. Literaturverzeichnis	- 21 -
5. Anlagen	- 23 -
6. Darstellung des eigenen Beitrags	- 23 -
7. Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit	- 24 -
8. Lebenslauf	- 25 -
9. Publikationen	- 27 -
10. Danksagung	- 28 -

1. Einführung

1.1. Ästhetisches Empfinden

Das Gesicht ist der prägnanteste Part des äußeren Erscheinungsbildes eines Menschen. Es ist maßgeblicher Bestandteil tagtäglicher sozialer Interaktion. Mit der angeborenen Vorliebe für gesichtsähnliche Anordnungen in Form von Auge-Auge-Nase-Mund beginnen wir von den ersten Lebenstagen an, Gesichter wahrzunehmen und die damit übermittelten nonverbalen Informationen zu erkennen und zu interpretieren. [1] Die mimische Muskulatur umfasst ca. 40 verschiedene Muskeln, deren Bewegungen die Emotionen jedes Menschen widerspiegeln. [2] Es existieren sogenannte Basisemotionen, welche auch interkulturell gleichermaßen wiedererkannt werden. [3] Zu den Basisemotionen zählen Wut, Freude, Trauer, Ekel, Angst, Verachtung und Überraschung. [4] Neben diesen bis zu mehreren Sekunden andauernden Makroexpressionen gibt es sogenannte Mikroexpressionen. Diese treten dann auf, wenn wahre Emotionen – bewusst oder unbewusst – verborgen werden sollen. [5] Mikroexpressionen dauern lediglich Bruchteile einer Sekunde an und sind somit schwerer zu erkennen. Mit dieser Thematik beschäftigt sich die US-amerikanische Serie „Lie to me“, in der sich Ermittler das Wissen über Mikroexpressionen zunutze machen, um Verbrecher zu überführen. Die zugrunde liegenden Forschungen gehen auf den US-amerikanischen Psychologen Paul Ekman zurück, welcher sich mit der Nonverbalen Kommunikation auseinandersetzte. Doch nicht nur durch Bewegungen (Mimik und Gestik) vermitteln wir unserem Gegenüber Informationen. Allein durch das Aussehen – dem Zustand unserer Haut, unserer Haare sowie Kleidung und Zähnen – transportieren wir unweigerlich einen ersten Eindruck. Dabei korreliert die Attraktivität eines Gesichts vorrangig mit der Attraktivität des Lächelns, während Haut- und Haarfarbe nur eine untergeordnete Rolle spielen. [6] Ein harmonisches Zusammenspiel aus Lippen und geraden, schönen Zähnen vermittelt den Eindruck von Gesundheit und Schönheit, Freude und Glück. Gerade in der Werbung unabhängig des Mediums – ganz gleich ob in Zeitungen, Zeitschriften, Fernsehen oder sozialen Netzwerken – ist dieses Bild allgegenwärtig. Das lässt das Verlangen der Konsumenten nicht nur nach ästhetischen Korrekturen im Gesichtsbereich steigen, sondern schafft auch ein Bewusstsein für die ästhetische Optimierung von Zähnen oder vorhandenem Zahnersatz. Dabei ist festzustellen, dass der selbst wahrgenommene vermeintliche Makel größeren Einfluss auf die Zufriedenheit mit dem äußeren Erscheinungsbild hat als die objektive Wahrnehmung.

[7] Eine solche Patientenklientel stellt den Zahnarzt nicht nur vor fachliche, sondern auch vor zwischenmenschliche Herausforderungen. Mögliche Ursachen für die Notwendigkeit, Zähne durch Restaurationen optisch zu verschönern und/oder deren Funktion wieder herzustellen, sind mannigfaltig vorhanden.

1.2. Zahnhartsubstanzdefekte

Primär unterscheidet man zwischen hereditären und erworbenen Zahnhartsubstanzdefekten. Zu den hereditären Defekten zählen die Amelogenesis imperfecta, die Dentinogenesis imperfecta und die Dentindysplasie. Auch bei der multifaktoriell bedingten Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) ist eine genetische Komponente nicht auszuschließen. [8] Die häufigste der genannten entwicklungsbedingten Fehlbildungen ist dabei die MIH, die mit einer weltweiten Prävalenz von 15% auftritt. [9] Zu den erworbenen Zahnhartsubstanzdefekten zählen kariesbedingte Defekte und nicht kariesbedingten Defekte wie Abrasion, Attrition, Erosion und Abfraktion.

1.3. Zahnfarbene Werkstoffe

1.3.1. Keramiken

Zur indirekten Versorgung von Zähnen mit Kronen respektive Brücken steht eine enorme Vielfalt verschiedenster Werkstoffe bzw. Werkstoffklassen zur Verfügung. Die Schwierigkeit liegt beim Behandelnden, für die etwaige Situation das richtige Material in Bezug auf Funktionalität und Ästhetik auszuwählen. Um optimale Ergebnisse hinsichtlich der Ästhetik zu erzielen, sind indirekte zahnfarbene Restaurationen in der Zahnmedizin sehr beliebt. [10] Ob in Deutschland oder in den USA: Zur Versorgung von Zähnen mit Einzelkronen entscheiden sich Zahnärzte häufig für keramische Materialien. [10, 11] Diese kann man in drei Gruppen einteilen: Silikatkeramiken, Hybridkeramiken und Oxidkeramiken.

Silikatkeramiken bestehen hauptsächlich aus einer Glasphase, in der kristalline Füllkörper eingebettet sind. Man unterscheidet klassische Silikatkeramiken (Feldspatkeramiken, leuzitverstärkte Glaskeramiken) von Lithium-X-silikatkeramiken (Lithiumdisilikat-, zirkonverstärkte Lithiumsilikat-, Lithium-alumino-silikatkeramiken).

Diese können entweder in einem *computer-aided design/ computer-aided manufactured*-Verfahren (CAD/CAM-Verfahren) gefräst und verarbeitet werden oder bei einigen Silikatkeramiken ist die Herstellung in einem Pressverfahren möglich. Hybridkeramiken sind Feldspatkeramiknetzwerke, die in Polymernetzwerke eingebettet sind. Diese können ausschließlich gefräst werden. Bei Oxidkeramiken unterscheidet man zwischen Zirkoniumdioxidkeramik und Aluminiumoxidkeramik. Diese werden üblicherweise gefräst, können aber auch im additiven Verfahren hergestellt werden.

Ursächlich für die Beliebtheit keramischer Restaurationsmaterialien ist die Kombination aus sehr guten materialtechnischen Eigenschaften (Abrasionsstabilität, hohe Biokompatibilität, thermische Isolatoreigenschaften) und der Farbstabilität sowie lichtleitenden/lichtbrechenden Eigenschaften. Somit kann mit diesen Materialien ein funktionell und ästhetisch hochwertiges Endergebnis erreicht werden. [12] Trotz der vorteilhaften Eigenschaften sind bei der Versorgung mit keramischen Restaurationen auch Nachteile zu nennen: Zwar können keramische Restaurationen im *chairside*-Verfahren monolithisch verarbeitet werden, allerdings verlangt ein ästhetisch optimales Ergebnis häufig auch die Individualisierung durch Bemalen der Restauration mit anschließendem Sintern. Ein solcher Sintervorgang umfasst drei Phasen, darunter zum einen das Vortrocknen zum Verdampfen der Anrührflüssigkeit und zum Verzndern der Farbstoffe und Bindemittel. Weiterhin beinhaltet er das eigentliche Brennen, bei dem das Brenngut in die Brennkammer gefahren und Vakuum gezogen wird. Die Temperatur wird über einen Zeitraum von ca. vier Minuten erhöht, woraufhin die Brenntemperatur über die Haltezeit konstant gehalten wird. In der dritten Phase kühlen die Werkstücke langsam ab. Diese Arbeitsschritte benötigen die handwerkliche Fähigkeit des Zahntechnikers und auch eine umfangreiche Ausstattung mit den notwendigen Laborgeräten. Die unsachgemäße Ausführung kann in Rissen, Sprüngen, ungleichmäßiger Schrumpfung und damit in sogenanntem innerem Stress der Restauration resultieren. Dies wirkt sich negativ auf Ästhetik und Langzeitstabilität aus. [13]

Neben dem technischen *Know-how* stellen auch die Übermittlung der Informationen bezüglich der Zahnfarbe, Form und anderer individueller ästhetischer Merkmale der Restauration einen wichtigen Aspekt dar. Diese potentielle Fehlerquelle kann das Einsetzen der Restauration verzögern und ist auch mit betriebswirtschaftlichen Einbußen für den Zahnarzt verbunden. Zusätzlich notwendige Behandlungstermine

aufgrund fehlerhafter Farbbestimmung belasten außerdem das Arzt-Patienten-Verhältnis.

1.3.2. Zahnfarbbestimmung

Bei der ästhetischen Wirkung von Restaurationen kommt der Farbbestimmung und somit der Reproduktion des natürlichen Zahnes mit all seinen individuellen Merkmalen demnach besondere Bedeutung zu. Doch wie entsteht aus einem einfachen Lichtreiz ein so facettenreiches Bild?

Wahrnehmbares Licht ist nur ein kleiner Teil der elektromagnetischen Strahlung, welche in Wellenlängen von ca. 380-780 nm sichtbar ist. [14] Die einfallenden Lichtstrahlen werden über die vordere und hintere Augenkammer, durch die Linse und den Glaskörper auf die Netzhaut projiziert. Diese besteht aus den Sinneszellen, den Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen dienen dem skotopischen Sehen bzw. Nachtsehen und die Anzahl pro Auge wird auf ca. 120 Millionen beziffert. Die Stäbchen sind sensitiv auf eine bestimmte Wellenlänge, die dem Blaugrün (500 nm) entspricht und das Sehen bei Dämmerung ermöglicht. Die ca. sechs Millionen Zapfen dienen dem Farbsehen. Sie haben ihr Absorptionsmaximum in den Wellenlängen 419 nm, 535 nm und 565 nm (blauviolett, smaragdgrün, gelbgrün). [15, 16] Die Verschaltung dieser Fotorezeptoren ermöglicht das Wahrnehmen von rund 200 unterschiedlichen Farbtönen, welche wiederum in diversen Helligkeits- und Weißabstufungen vorhanden sind und somit knapp 20 Millionen Farben differenzierbar machen. Die durch den Betrachter wahrgenommene Zahnfarbe entsteht, indem auf den Zahn einfallendes Licht zum Teil gestreut und zum Teil absorbiert wird, bevor es am Eintrittspunkt wieder austritt und das Auge des Betrachters erreicht. [17] Die Zahnfarbe wird dabei vorrangig durch die Farbe des Dentins bestimmt, da die Dentintubuli hauptsächlich zur Streuung des Lichtes beitragen. Durch ihre Anordnung von der Pulpa hin zur Schmelz-Dentin-Grenze resultiert eine richtungsabhängige Lichtausbreitung. [18] Die Lichtbrechung durch Kristallprismen des transluzenten Schmelzes im blauen Wellenlängenbereich haben nur geringen Einfluss auf die Zahnfarbe. In den Bereichen, in denen sich zwischen zwei Schmelzoberflächen kein Dentin befindet (im Bereich der Inzisalkante und im äußersten Approximalbereich), kommt es durch Lichtreflektion und Lichtbrechung zu einer Art Spiegeleffekt, der dabei die darunterliegende Dentinfarbe

widergibt. Farbtöne, welche nicht weißlich erscheinen, entstehen durch Lichtabsorption. [19]

Die Bestimmung der Zahnfarbe kann durch eine klassische visuelle Farbbestimmung oder durch eine digitale Farbbestimmung erfolgen. Bei der klassischen visuellen Farbbestimmung ist die Farbskala *VITA Classical* (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) weit verbreitet. Sie umfasst 16 Farbtöne von A1-D4. Die Farbgruppe A stellt rötlich-bräunliche Farbtöne dar, Gruppe B rötlich-gelbliche Farbtöne, Gruppe C bildet Grautöne ab und Gruppe D gibt rötlich-graue Farbtöne wieder. Innerhalb der Farbtongruppe nimmt dann von 1-4 die Helligkeit ab und die Farbsättigung zu. [20] Die Vielzahl verschiedener Farbtöne lässt sich häufig anhand der 16 vorhandenen Farbmusterstäbchen nicht detailliert genug beschreiben. Daher können mit dem *VITA Toothguide 3D-Master* (VITA Zahnfabrik) 26 verschiedene Farbnuancen bestimmt werden. Bei dieser Farbskala wird zunächst eine der fünf Hauptgruppen anhand der Helligkeit ausgewählt und anschließend innerhalb der Helligkeitsgruppe dann der richtige Farbton gelblich (l), neutral (m) und rötlich (r) ausgewählt. Mit dem *VITA Toothguide 3D-Master* kann somit eine bessere Farbbestimmung der natürlichen Zahnfarbe erzielt werden. [21] Zur digitalen Farbbestimmung kann zudem ein Spektrophotometer (z. B. *VITA Easyshade V*, *VITA Zahnfabrik*) verwendet werden. Bei diesem Gerät wird definiertes weißes Licht in den Zahn geleitet, das reflektierte Licht von den Sensoren aufgenommen und anschließend analysiert. Die Farben werden anhand des $L^*a^*b^*$ -Farbraums angezeigt. Mit dem $L^*a^*b^*$ -System können alle wahrnehmbaren Farben mathematisch beschrieben werden. Dieser dreidimensionale Farbraum wird durch die Koordinaten Helligkeit (L^*), Chroma (Intensität der Farbe) und den Farbton (a^*b^*) bestimmt. Die a^* -Koordinate gibt dabei Chroma und Farbton im Bereich zwischen rot und grün an, während die b^* -Koordinate Chroma und Farbton im Bereich zwischen blau und gelb beschreibt. [21, 22] Anschließend gibt das Spektrophotometer alle Zahnfarben anhand der Farbskalen *VITA Classical* und *VITA System 3-D-Master* aus. Außerdem erfolgt die Angabe der Farben des *Bleached-Index der American Dental Association*. [23] Die digitale Messtechnik ist unabhängig vom Behandelnden und in der Durchführung nicht techniksensitiv, allerdings steht nicht jedem Zahnarzt ein Spektrophotometer zur Verfügung. Wird die visuelle Zahnfarbbestimmung hingegen korrekt durchgeführt d.h. ohne störende Faktoren wie auffällige Kleidung oder Make-up in einer farbneutralen, grauen Umgebung bei

Tageslicht sind die Ergebnisse der visuellen Farbbestimmung mit den Ergebnissen eines Spektrophotometers vergleichbar. [24]

Ist die monolithische Anwendung des zahnfarbenen Materials – auch unter Verwendung der Maltechnik – ästhetisch nicht zufriedenstellend, besteht über das Bemalen der Restauration hinaus die Möglichkeit, dies mit einer Verblendung zu gestalten. Die Verblendung birgt aber eine potentielle neue Ursache für Komplikationen im Sinne eines *Chippings*. Dabei kann das *Chipping* zwischen Gerüst- und Verblendkeramik (adhäsiv) oder innerhalb der Verblendkeramik (kohäsiv) stattfinden. Sailer et al. beziffern das Vorhandensein von *Chipping* verblendeter Keramikrestauration auf 13% nach 3 Jahren und 15% nach 5 Jahren. [25, 26] Die Ursache für *Chipping* kann bereits während des Herstellungsprozesses aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Gerüst- und Verblendkeramik und dem damit verbundenen Spannungstress innerhalb der Verblendkeramik liegen. [27] Weitere Faktoren, die *Chipping* begünstigen, sind eine ungünstige Gerüstgestaltung und nicht ausreichende Materialschichtdicke der Verblendkeramik, sowie eine fehlerhaft eingestellte Okklusion und/oder ungünstige okklusale Belastung durch Parafunktionen (Bruxismus). [28, 29] Bei einer Prävalenz des Bruxismus unter Erwachsenen von 20% ist dieser mitunter im klinischen Alltag eine nicht zu vernachlässigende Kontraindikation für Verblendungen oder die Anwendung vieler zahnfarbener Materialien. [30]

1.3.3. Indirekte Komposite

Auf der Suche nach aussichtsreichen Alternativen zu keramischen Restaurationen gewinnen indirekte Kompositrestaurationen immer mehr an Bedeutung. Indirekte Komposite sind Verbundwerkstoffe bestehend aus anorganischen Füllstoffen und Nebenbestandteilen, welche in einem polymeren Netzwerk eingebettet sind. [31] Das Polymernetzwerk verbindet dabei die Füllstoffe. Diese Werkstoffe sind eine Kombination aus endständigen Dimethacrylat (DMA)- Monomeren mit einem variablen inneren Aufbau. Dieser stellt sich hauptsächlich als Bisphenol-A-Glycidylether (Bis-GMA), Ethylenglycoldimethacrylat (EGDMA), Urethandimethacrylat (UDMA) oder Triethylenglycoldimethacrylat (TGDMA) dar. [32] Die anorganischen Füllkörper, meist bestehend aus Gläsern, teilkristallinem Zirkonoxid oder Siliziumoxid, verbessern die Abriebfestigkeit, die Härte, den E-Modul, die Polierbarkeit, die Ästhetik und die

Röntgenopazität. Außerdem werden der Wärmeausdehnungskoeffizient, die Polymerisationsschrumpfung und die Wasseraufnahme deutlich reduziert.

Um das hydrophobe polymere Netzwerk und die hydrophilen Füllkörper zu verbinden kommen Silane zum Einsatz. Zusätzlich zu diesen Haftvermittlern werden UV-Stabilisatoren, Pigmente und Initiatoren verwendet.

Indirekte Komposite unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich ihres jeweiligen Manufakturprozesses. [33] Sie können einerseits durch additive Verfahren wie die manuelle Schichtung oder den 3-D Druck hergestellt werden. Andererseits können sie subtraktiv mittels Fräsen verarbeitet werden. Komposite sind vor allem aus der Füllungstherapie bekannt, bei der direkte Restaurationen manuell geschichtet und polymerisiert werden. Im Rahmen dieses Prozederes treten im Vergleich zu den anderen o.g. Manufakturprozessen verstärkt Polymerisationsschrumpfung und Inhomogenitäten auf. Diese werden vor allem durch die Schichtdicke der Restauration, die verwendete Lichtquelle und deren Abstand zur Restauration bestimmt. [34] Außerdem verbleibt durch Photopolymerisation ein geringer Anteil Restmonomer im Kunststoff. Die im additiven CAD/CAM-Verfahren hergestellten 3-D-gedruckten Kompositrestaurationen werden vorrangig zur Herstellung von Provisorien verwendet. Diese werden mit dem Verfahren der digitalen Lichtprojektion (*Digital Light Processing*, DLP) angefertigt. Dabei werden die Restaurationen mittels Photopolymerisation schichtweise erzeugt: Auf eine digitale Leinwand wird das Bild der Restauration projiziert und dann alle Punkte der jeweiligen Schicht gleichzeitig ausgehärtet. Auf diese Art können passgenaue Restaurationen effizient hergestellt werden. [35] Die dritte Möglichkeit zur Herstellung indirekter Kompositrestaurationen ist das subtraktive CAD/CAM-Verfahren. Bei diesem werden aus Blöcken bzw. Ronden die entsprechenden Restaurationen mittels CAD/CAM-Verfahren gefräst. In diesen Restaurationen ist der Restmonomergehalt deutlich geringer, die Homogenität der Matrix höher und die mechanischen, thermischen sowie chemischen Eigenschaften sind verbessert. [36] Die Abformung der Zähne zur Aufnahme der Restaurationen kann dabei analog mittels Abformmaterial und anschließender Digitalisierung mittels Modellscanner erfolgen oder die Abformung wird mittels Intraoralscanner *chairside* durchgeführt und somit ein rein digitaler *Workflow* ermöglicht. Die generierten Datensätze werden an die Fräsmaschine gesendet und die Restauration wird hergestellt. Mit geringem materialtechnischem Aufwand können diese CAD/CAM-

Kompositrestaurationen dann im Anschluss mit lichthärtenden Malfarben oder eingefärbten Glasurmassen individualisiert werden.

1.4. Versuchsaufbau

Um die Praxistauglichkeit der *chairside* Individualisierung der CAD/CAM-Komposite zu untersuchen, wurde folgender Versuchsablauf erarbeitet: 13 unerfahrene und 13 erfahrene Anwender hatten die Aufgabe, zwei Seitenzahnkronen (Zahn 16 und 36) zu individualisieren. Die Arbeitshypothese dieser in-vitro Studie war es, dass der Erfahrungsgrad der Anwender keinen Einfluss auf die Gesamtqualität und die Bearbeitungszeit der individualisierten Kronen hat.

Die Gruppe der unerfahrenen Probanden (m, w) bestand aus Studierenden des 4. Studienjahrs der Zahnmedizin an der Universität Leipzig. Die Gruppe der erfahrenen Anwender/innen setzte sich aus Zahntechniker/innen sowie einer Zahntechnikerin in Ausbildung mit mindestens einem Jahr Berufserfahrung zusammen. Die der Untersuchung zugrunde liegenden Referenzkronen wurden von einem erfahrenen Untersucher (unabhängiger Zahntechniker) hergestellt. Dabei wurden die entsprechenden Kronen mittels CAD/CAM-Verfahren aus *Grandio blocs* (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) in der *high translucency (HT)* Variante mit der Zahnfarbe A2 nach der Morphologie der Zähne 16 und 26 vollanatomisch gefräst. Als Charakterisierungsmaterial wurde anschließend ein lichthärtendes Komposit (*Final Touch*, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) verwendet. *Final Touch* ist in fünf Farben erhältlich, welche auch untereinander gemischt werden können. Alle Probanden mussten im Vorfeld an einer Fortbildung in Form eines einstündigen Vortrages zum Umgang mit den CAD/CAM- sowie Charakterisierungsmaterialien teilnehmen. Im Anschluss wurden die beiden Seitenzahnkronen in randomisierter Reihenfolge zugelost. Die Probanden mussten dann die gefrästen Kronen an den entsprechenden Stellen reduzieren, mit einem Adhäsiv vorbereitet, mit *Final Touch* individualisieren und anschließend mit Komposit (*GrandioSo Flow*, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) überschichten. Während der Dauer des Versuches waren die Herstellerangaben jederzeit einsehbar und die Arbeitsmaterialien einheitlich. Eine unabhängige dritte Person war mit der Zeitmessung beauftragt.

Abschließend wurden alle Probanden gebeten, einen Bewertungsbogen auszufüllen, der folgende Parameter beinhaltete: Polierbarkeit, Applikation, Verarbeitungszeit und

Gesamteindruck. Zwei Zahntechnikermeister bewerteten abschließend, unter Verwendung einer Lupenbrille, die durch die Probanden individualisierten Kronen im Vergleich zu den Referenzkronen hinsichtlich Form, Farbe, Politur, Einschlüssen, Okklusion und der Gesamtqualität.

Die unerfahrenen Anwender benötigten für die Individualisierung der ersten Krone im Durchschnitt etwas weniger als eine Stunde Arbeitszeit und für die zweite Krone eine halbe Stunde. Die erfahrenen Anwender konnten die erste Krone im Mittel innerhalb von 36 Minuten individualisieren und benötigten für die zweite Krone lediglich 25 Minuten. Es konnte sowohl bei den unerfahrenen als auch bei den erfahrenen Anwendern eine signifikante Verbesserung hinsichtlich der benötigten Zeit festgestellt werden. Die Auswertung der Bewertungsbögen ergab, dass die Applikation des Individualisierungsmaterials, Verarbeitungszeit und Polierfähigkeit mit der Note gut und der Gesamteindruck mit der Note befriedigend bewertet wurden.

Die Zahntechnikermeister/innen bewerteten abschließend insgesamt über 90% der individualisierten Kronen, in Bezug auf den Gesamteindruck der Qualität, als sehr gut bis befriedigend; sie wurden ohne Nachbearbeitungszeit als eingliederungsfähig deklariert.

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen die Schlussfolgerung zu, dass bei der *chairside*-Individualisierung von CAD/CAM-Kompositen der Erfahrungsgrad des Behandelnden keinen Einflussparameter auf die Qualität der Kronen darstellt. Aufgrund des schnellen Lerneffekts innerhalb aller Anwendergruppen stellt die *chairside*-Individualisierung von CAD/CAM-Kompositen eine interessante Möglichkeit der prothetischen Versorgung anspruchsvoller Patienten dar, da auch sehr individuelle ästhetische Situationen direkt am Behandlungsstuhl in einem zeiteffizienten Prozedere umgesetzt werden können.

Original article

Practicability of a chairside approach for characterizing CAD/CAM resin-based composites

Dominic Gold, Sebastian F. Hahnel, Oliver Schierz, and Angelika Rauch

Department of Prosthodontics and Materials Science, University of Leipzig, Leipzig, Germany

(Received December 5, 2019; Accepted February 4, 2020)

Abstract: Perception of tooth shades is subjective and not rated exactly the same by different individuals. In terms of dental esthetics, chairside individualization of dental restorations might help to improve patient satisfaction. This investigation aimed to validate the practicability of a chairside approach for staining resin-based composite restorations. Thirteen inexperienced and 13 experienced participants were recruited to first individualize two CAD/CAM resin-based composite crowns in randomized order with light-curing characterization material using two reference crowns as templates. They then evaluated the characterization procedure. The processing times were recorded, and the clinical quality of the individualized crowns was evaluated by two blinded master dental technicians. Of the 52 crowns examined, 90.4% were assessed as suitable for insertion; there was no difference in quality attributable to the different degrees of experience of the operators. The average time required for characterization of the second crown was significantly shorter than for the first crown (30.9/43.0 min), indicating that the procedure can be implemented using a chairside approach. Among the operators, 80.8% said they would use the individualization technique and staining material again. Chairside staining of CAD/CAM resin-based composite restorations with light-curing characterization materials is practicable and can be recommended for both experienced and inexperienced users.

Keywords; cerec, color, esthetics, permanent dental restoration

Introduction

In dental practice, fabrication of fixed restorations is a popular approach for providing patients with esthetically pleasing tooth replacements within a single visit. All-ceramic restorations produced using a chairside approach are associated with high patient satisfaction, high survival rates and good clinical quality over long observation periods [1-4]. They can also be individualized in the direct presence of the patient using stains, thus facilitating highly esthetic results, since it has been shown that less than half of laboratory-fabricated restorations adequately match the adjacent natural teeth [5]. Moreover, the perception of color is very subjective and dependent on emotional sensitivity, suggesting that the rating of any individual restoration will not be exactly the same [Chu et al., Color in dentistry: a clinical guide to predictable esthetics, 12-14, Quintessence Publishing, 2017]. In this context, chairside individualization might help to improve patient satisfaction, adherence and acceptance of the newly inserted restoration.

Various manufacturers have provided instructions on the chairside staining procedure and a number of case reports have addressed this issue [6-9]. One disadvantage of staining dental ceramics is that subsequent glazing must be carried out, requiring additional equipment and time (about 25 min for glaze firing and cooling). Furthermore, differences in the mixing ratios of ceramic powders or frequent corrective firings can result in large variations of coloring and translucency [10,11].

In addition to ceramics, various resin-based composites are available as definitive restoration materials that can be used for computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) [12]. Indirect resin-

based composites have certain advantages in that restorations have high edge stability and low layer thickness; furthermore, intraoral repairs are simple since no hydrofluoric acid is needed [13,14]. In terms of esthetics, mono- and multilayer blocks are available and CAD/CAM resin-based composites can be characterized using a lab- and chairside approach with light-curing characterization materials. In comparison to ceramic materials, CAD/CAM resin-based composites are advantageous in that esthetic results can be achieved without additional firing, and only light-curing materials are needed (Figs. 1a, 1b). Thus, additional and expensive equipment is not required, and the time needed to finish the restoration can be minimized since no firing is necessary and the work can be done using only a conventional light curing unit. Although chairside staining of CAD/CAM resin-based composites is promoted by the manufacturers, to the authors' knowledge no previous studies have validated the practicability of the technique in terms of processing time or the quality of the individualized restorations. Furthermore, no investigation has determined whether this technique can be used by inexperienced operators, or whether it can only be performed by experienced practitioners. As many dental nurses now individualize restorations fabricated using a chairside CAD/CAM approach, this issue appears to be of particular relevance.

The working hypothesis of the present study was that the degree of experience of the operator would not lead to any differences in the processing time or quality of the individualized CAD/CAM resin-based composite crowns.

Materials and Methods

In August 2018, 13 undergraduate dental students (inexperienced users) and 13 dental technicians (experienced users) were recruited to individualize a CAD/CAM resin-based composite for the first time (Grandio blocs HT A2, VOCO, Cuxhaven, Germany). All users received the same one-hour lecture on the use of CAD/CAM resin-based composites and light-curing characterization materials; the latter were available in white, blue, yellow, orange, and brown (FinalTouch, VOCO). The inexperienced users were familiar with the handling of direct resin-based composites from one clinical course each in dental prosthodontics and preventive/operative dentistry. In addition, they had completed a two-hour hands-on course for staining of dental ceramics in the previous academic year. The experienced users had at least one year of professional experience.

Two crowns (#16 and #36) were fabricated and individualized by an independent dental technician prior to this study and served as characterization templates (Fig. 2). Each reference crown was stained in five areas according to the manufacturer's instructions. The crowns were assigned to the operators in random sequence. During the staining process, the operators had access to the manufacturer's information and the same working materials, and were instructed to characterize the crowns in accordance with the manufacturer's specifications (Table 1). The processing time required for each individualization was recorded by an independent observer. At the end of the procedure, the participants were asked to complete an evaluation form in which they rated the processing time, application and polishing of the materials as well as their overall impression on a 5-point Likert scale (very good, good, sufficient, insufficient, poor). All data were collected in an anonymized manner so that two master dental technicians who were not involved in the characterization of the crowns were able to blindly assess the conformity of the quality in relation to the reference crowns using magnifying loupes. Shape, color, contamination, occlusion, polishing (one-step polishing system, Dimanto, VOCO), and overall impression of quality were rated using an evaluation sheet, and in the event of differ-

Correspondence to Dr. Angelika Rauch, Department of Prosthodontics and Materials Science, University of Leipzig, Liebigstr 12, Leipzig 04103, Germany
Fax: +49-341-9721-309 E-mail: angelika.rauch@medizin.uni-leipzig.de

J-STAGE Advance Publication: August 31, 2020
Color figures can be viewed in the online issue at J-STAGE.
doi.org/10.2334/josnusd.19-0507
DN/JST.JSTAGE/josnusd/19-0507

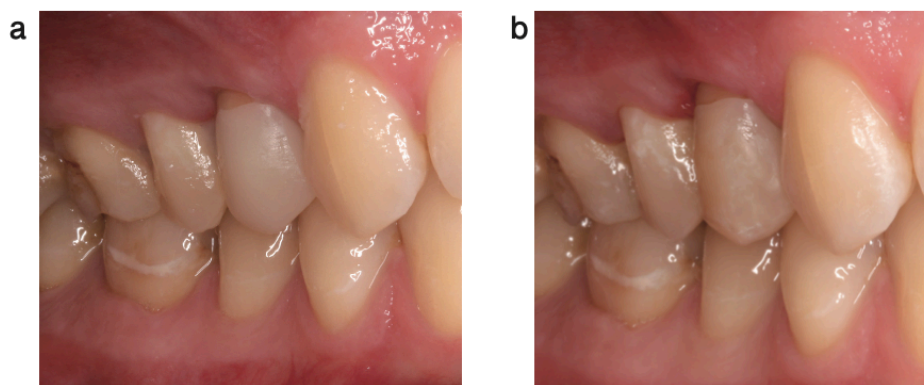


Fig. 1 a: try-in of the CAD/CAM resin-based composite crown #14. In comparison to the adjacent teeth, white spots are missing. b: crown #14 was individualized with light-curing stains using a chairside approach.

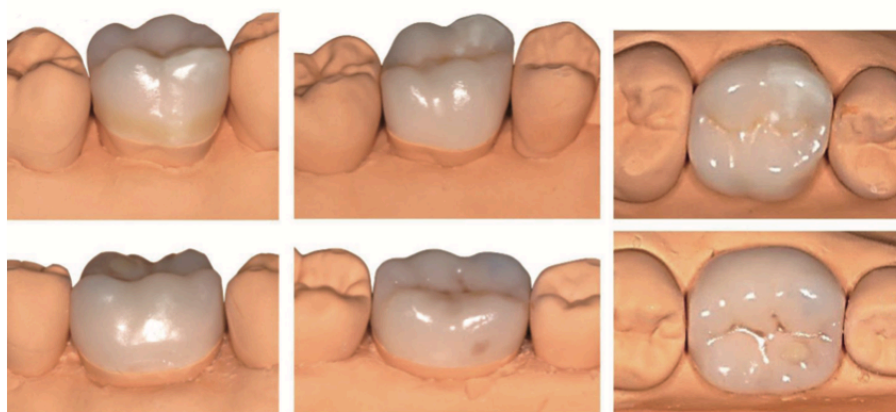


Fig. 2 The reference crowns (left to right: vestibular, oral, occlusal) were each characterized in five areas for treatment of #16 in the maxilla (upper row) and #36 in the mandible (lower row).

Table 1 Staining procedure for a CAD/CAM resin-based composite (Grandio blocs, VOCO) with light-curing characterization materials (Final-Touch, VOCO)

Step	Procedure
1	Preparing characterization patterns (rotary instrument)
2	Cleaning of the restoration with water dry
3	Drying of the restoration with moisture-free and oil-free air
4	Application and light-curing of a suitable adhesive
	Insertion of color with e.g. metal cannulas, brush, probe, root canal instrument* (maximum layer thickness)
	white: white spots, halo effects, masking of discolorations (0.5 mm)
	blue: translucent enamel areas, opalescent regions (0.5 mm)
5	yellow/orange: dentin core, fissures, enamel characteristics (0.5 mm)
	orange/brown: enamel cracks, fissures (orange 0.5 mm/brown 0.3 mm)
	*It is possible to mix colors or even mix color and composite for different color intensities.
6	Light-curing: 20 s, minimum light-output of 500 mW/cm ²
7	Covering stains with suitable restorative composite + light-curing
8	Polishing with a one-step system [†]
	[†] Results of the present study favor multistep polishing systems and low contact pressure.

ing assessments, a consensus was reached by discussion. All crowns were evaluated within 5 h in the daytime (on the same day) in a room equipped only with north-facing windows. Crowns that received an overall impression of quality score of 1-3 (very good, good, sufficient) were considered to be clinically acceptable, and those with scores of 4-5 (insufficient, poor) as clinically unacceptable. Statistical evaluation of the collected data was carried out at a significance level of $P < 0.050$ (SPSS 22, IBM Corporation, Armonk, NY, USA). For comparisons of continuous data (age, processing time) the Shapiro-Wilk test for normality was used (all $P \geq 0.145$), and independent or paired t -tests were applied. For categorical data (scores) Mann-Whitney U -test (independent samples) or Wilcoxon signed-rank test (paired data) was used. The study was performed in accordance with the

Declaration of Helsinki and all participants provided signed informed consent. As the participants received no intervention, and as no safety-relevant measures were performed, the Ethics Committee at the Medical Faculty of Leipzig University considered that no study approval was necessary. The waiver issued by the Ethics Committee was submitted to the Journal of Oral Science.

Results

The average age of the recruited participants (experienced and inexperienced) was 32.7 ± 10.7 years (min. 22 years, max. 60 years, 53.8% female). The distribution within the groups is shown in Table 2.

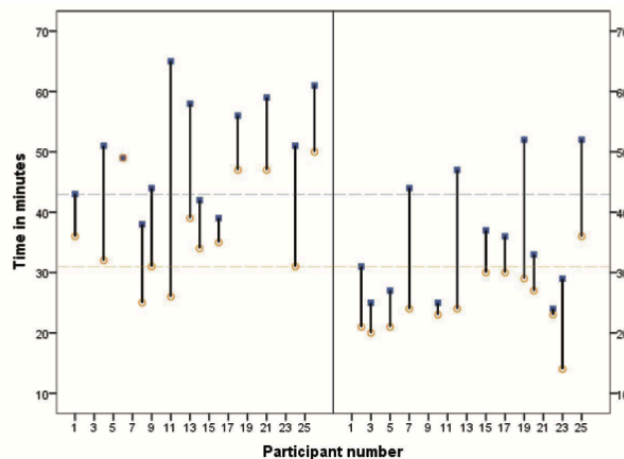


Fig. 3 Processing times for inexperienced (left) and experienced (right) users; the marks represent the individual times, and the dashed lines are the mean characterization times per crown: first crown (blue/square, t , 43.0 ± 12.1 min; min. 24 min, max. 65 min), second crown (orange/circle, t , 30.9 ± 9.5 min; min. 14 min, max. 50 min).

Table 2 Distribution of participants within the operator groups by age and gender as well as processing times; significance was determined using independent *t*-tests

	Inexperienced user	Experienced user	<i>P</i> value
Number	13	13	
Number female	8	6	
Age in years	25.5 ± 3.6	39.9 ± 10.5	<0.001
Processing time for 1st crown in minutes	50.5 ± 8.9	35.5 ± 10.2	0.001
Processing time for 2nd crown in minutes	37.1 ± 8.6	24.8 ± 5.6	<0.001

Characterization time

Comparison of the processing times among the users revealed a statistically significant reduction of 12.1 ± 8.7 min between the fabrication of the first (43.0 min) and second (30.9 min) crowns (Fig. 3) (paired *t*-test: both user groups $P < 0.001$). The experienced group showed a significantly shorter individualization time for the processing of both crowns than the inexperienced group (Table 2).

Quality of crowns evaluated by independent master dental technicians

The overall impression of the quality of the individualized crowns was rated at 2.6 by both user groups. In total, 90.4% of the crowns were assessed as being clinically acceptable for insertion. Shape and coloring were evaluated as matching or partially matching for 82.7% and 71.2% of the restorations, respectively. Contaminants on the individualized surfaces were observed in 9.6% of the crowns, and 42.3% of the polished surfaces showed inadequate (insufficient, poor) results (Fig. 4). There were no statistically significant differences in these criteria between the user groups in any category (Mann-Whitney *U*-test; all $P \geq 0.067$), nor were any significant differences identified between the evaluations of the first and second crowns (Wilcoxon signed-rank test: all $P \geq 0.193$).

Evaluation by the operators

The results of the questionnaire that was answered by the operators revealed that 80.8% of them would be prepared to use chairside characterization of CAD/CAM resin-based composite crowns in their everyday clinical practice; 19.2% said they would not consider it or would tend not to use it. The processing time was evaluated as very good or good by 80.8%, and 76.9% described the application of the characterization materials as very good or good. Polishing with the one-step polishing system was rated as insufficient by 19.2% (Table 3).

Discussion

To the authors' knowledge, the present study is the first investigation to have addressed the practicability of chairside characterization of tooth-colored CAD/CAM resin-based composite materials. The overall impression

of quality of 90.4% of the crowns was rated as clinically acceptable for insertion without further processing. The experienced users needed significantly less time than the inexperienced participants. These results partially refute the working hypothesis, since the processing time differed between the user groups; however, user experience had no influence on the quality of the individualized crowns. Moreover, a relevant effect of practice in terms of the time required for crown individualization was identified, indicating that the characterization technique has a steep training curve. With regard to this aspect, the time required for the second individualization was clinically acceptable for both user groups, particularly in comparison with staining ceramics. Overall, application of the light-curing characterization material proved to be clinically acceptable.

While utilizing light-curing materials for characterization, a clean workstation is advisable in order to avoid contamination. The one-step polishing system applied to the fabricated crowns produced clinically insufficient results, suggesting that a multistep system should be used with low contact pressure. This recommendation has recently been included in the manufacturer's instructions for the CAD/CAM resin-based composite and characterization material. Moreover, a recently published study has indicated that appropriate chairside polishing after intraoral adjustment as well as laboratory-based polishing after milling can produce CAD/CAM resin-based composite surfaces with similar roughness [15].

Due to the design of this study, the reference crowns could only represent a small variety of the esthetically challenging aspects of restorative dentistry, such as brown spots or discolored fissures. In daily dental practice, numerous characteristics would need to be considered; nonetheless, within the scope of the present study, the two reference crowns provided ten different types of modifications. Moreover, only one light-curing characterization system was evaluated, although many more are available such as Sinfony Magic for Lava Ultimate (3M, Seefeld, Germany) or OPTI-GLAZE color for Cerasmart (GC, Leuven, Belgium). As this study focused on practicability and handling of the individualization process depending on the operator's experience, the characterization procedures were performed under standardized experimental conditions, including a single light-curing system and a room equipped only with north-facing windows. A comparison of different light-curing systems in future studies might be

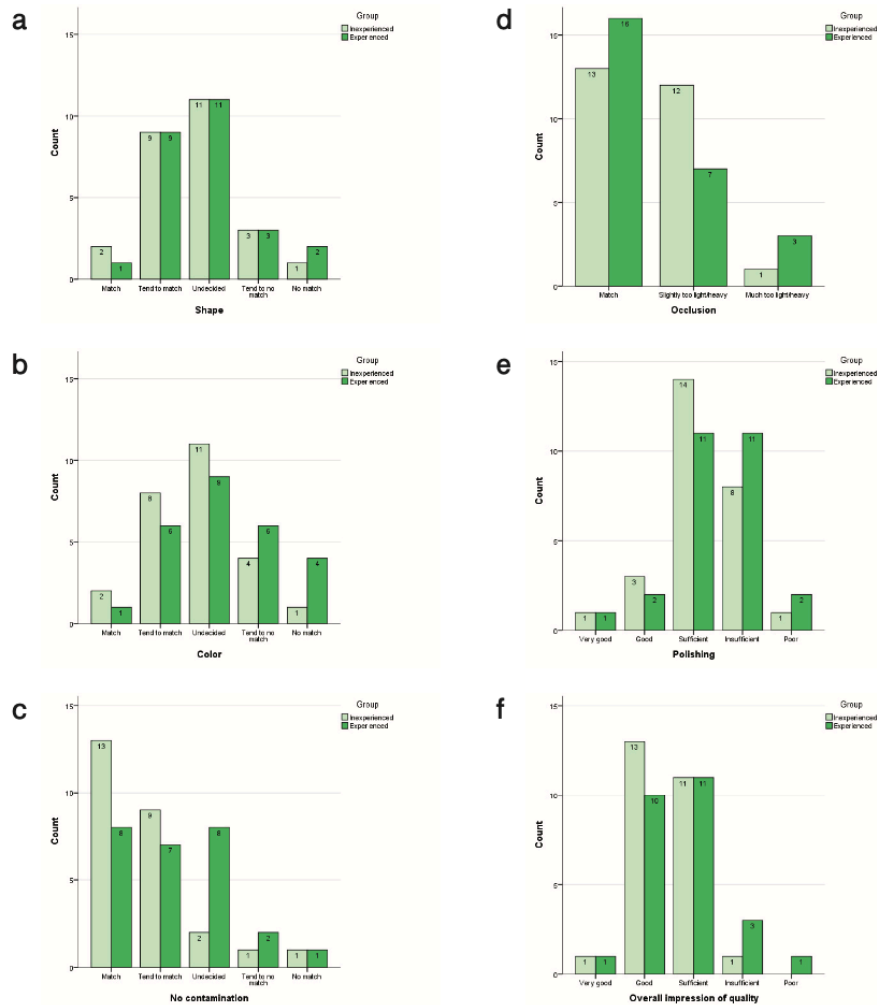


Fig. 4 Quality of crowns fabricated from CAD/CAM resin-based composites by inexperienced and experienced operators evaluated in consensus by two independent and blinded master dental technicians.

Table 3 Evaluation of the characterization materials for CAD/CAM resin-based composite crowns by operators (%)

	Very good	Good	Sufficient	Insufficient	Poor
Polishing	19.2	50.0	11.6	19.2	0.0
Application	11.5	65.4	19.2	3.9	0.0
Processing time	30.8	50.0	15.4	3.8	0.0
Overall impression of operators	11.6	26.9	42.3	19.2	0.0

interesting. Currently, the only case reports available are those describing chairside shading and staining of restorations with light-curing materials [7]. Future clinical trials (cohort studies, RCTs) will need to investigate the practicability of chairside characterization, especially in esthetically challenging areas such as incisor crowns in adolescent/young patients.

So far, no long-term clinical studies have investigated the performance of CAD/CAM resin-based composites. As some *in vitro* studies have indicated that composites might be influenced by aging and toothbrush abrasions [16-18] or might show discolorations due to food/drink [19], the color stability of characterized resin-based composite crowns in particular should be investigated.

Although there are data from *in vitro* studies addressing the mechanical properties of CAD/CAM resin-based composites [14,20,21], it is unknown whether staining, even if coated with direct resin-based composite materials, might affect certain properties such as hardness, surface quality or wear. This lack of knowledge might be the reason why some manufacturers (e.g. 3M [Lava Ultimate]) limit the indication of staining to pits and fissures. Future investigations, along with the present findings, might help to

encourage chairside characterization in daily dental practice.

Chairside characterization of CAD/CAM resin-based composite restorations can be recommended as a technique suitable for both inexperienced and experienced users. With even brief training, inexperienced users can achieve processing times similar to those of experienced operators. However, for characterized CAD/CAM resin-based composite restorations, one-step polishing systems might yield clinically insufficient results.

Acknowledgments

The authors thank VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany, for providing the materials for this study.

Conflict of interest

The authors AR and SH declare that they have received funding for other studies from VOCO GmbH. The authors DG and OS declare that they have no conflict of interest. This study was not financially supported by a third party.

References

1. Fasbinder DJ (2006) Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc* 137 Suppl, 22S-31S.
2. Otto T, Mörmann WH (2015) Clinical performance of chairside CAD/CAM feldspathic ceramic posterior shoulder crowns and endocrowns up to 12 years. *Int J Comput Dent* 18, 147-161.
3. Otto T (2017) Up to 27-years clinical long-term results of chairside Cerec 1 CAD/CAM inlays and onlays. *Int J Comput Dent* 20, 315-329.
4. Rauch A, Reich S, Dalchau L, Schierz O (2018) Clinical survival of chair-side generated monolithic lithium disilicate crowns: 10-year results. *Clin Oral Investig* 22, 1763-1769.
5. Wee AG, Monaghan P, Johnston WM (2002) Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 87, 657-666.
6. Kessler JC, Willer RD, Wilson EL (1986) Chairside characterization of porcelain restorations. *Quintessence Int* 17, 551-555.
7. Small BW (1994) Customized, light-cured chairside staining. *Dent Econ* 84, 75-76.
8. Masek RT (2001) Achieving high-level esthetics with CEREC. *Compend Contin Educ Dent* 22, 19-26.
9. Schneider O (2003) Cerec veneers-practical procedure and case presentation. *Int J Comput Dent* 6, 283-292.
10. Yılmaz K, Gonuldas F, Ozturk C (2014) The effect of repeated firings on the color change of dental ceramics using different glazing methods. *J Adv Prosthodont* 6, 427-433.
11. Lee W-S, Kim S-Y, Kim J-H, Kim W-C, Kim H-Y (2015) The effect of powder A2/powder A3 mixing ratio on color and translucency parameters of dental porcelain. *J Adv Prosthodont* 7, 400-405.
12. Zimmermann M, Koller C, Reymus M, Mehl A, Hickel R (2018) Clinical evaluation of indirect particle-filled composite resin CAD/CAM partial crowns after 24 months. *J Prosthodont* 27, 694-699.
13. Ruse ND, Sadoun MJ (2014) Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res* 93, 1232-1234.
14. Pfeilschifter M, Preis V, Behr M, Rosentritt M (2018) Edge strength of CAD/CAM materials. *J Dent* 74, 95-100.
15. Matzinger M, Hahnel S, Preis V, Rosentritt M (2019) Polishing effects and wear performance of chairside CAD/CAM materials. *Clin Oral Investig* 23, 725-737.
16. Korkmaz Ceyhan Y, Ontiveros JC, Powers JM, Paravina RD (2014) Accelerated aging effects on color and translucency of flowable composites. *J Esthet Restor Dent* 26, 272-278.
17. Gürdal I, Atay A, Eichberger M, Cal E, Üsümez A, Stawarczyk B (2018) Color change of CAD-CAM materials and composite resin cements after thermocycling. *J Prosthet Dent* 120, 546-552.
18. Okamura K, Koizumi H, Kodaira A, Nogawa H, Yoneyama T (2019) Surface properties and gloss of CAD/CAM composites after toothbrush abrasion testing. *J Oral Sci* 61, 358-363.
19. Özarslan MM, Büyükkaplan US, Barutçigil C, Özarslan M, Barutçigil K, Türker N (2018) Assessing staining resistance of a CAD/CAM interpenetrating network composite material. *Head Face Med* 14, 27.
20. Choi B-J, Yoon S, Im Y-W, Lee J-H, Jung H-J, Lee H-H (2019) Uniaxial/biaxial flexure strengths and elastic properties of resin-composite block materials for CAD/CAM. *Dent Mater* 35, 389-401.
21. Hampe R, Theelke B, Lümekemann N, Eichberger M, Stawarczyk B (2019) Fracture toughness analysis of ceramic and resin composite CAD/CAM material. *Oper Dent*, doi: 10.2341/18-161-L.

3. Zusammenfassung der Arbeit

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

Practicability of a chairside approach for characterizing CAD/CAM resin-based composites

eingereicht von: Dominic Gold

angefertigt an: Universität Leipzig, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und
Werkstoffkunde

betreut von: Prof. Dr. med. dent. Sebastian Hahnel
PD Dr. med. dent. Angelika Rauch, M.Sc.

Einreichung: Februar 2022

Zusammenfassung:

Durch die allgegenwärtige Verfügbarkeit der Sozialen Medien wird das Bewusstsein für das äußere Erscheinungsbild eines Menschen in den vergangenen Jahren immer stärker beeinflusst. In der digitalen Welt kann man mittels Filtern, Bildbearbeitungsprogrammen und günstigen Blickwinkeln schnell das Bild, welches man dem Gegenüber übermitteln möchte, optimieren. In der realen Welt ist dies naturgemäß schwieriger. Bei der Übermittlung nonverbaler Informationen spielt dabei unser Gesicht eine entscheidende Rolle. Ein attraktives Lächeln mit einem harmonischen Zusammenspiel aus Lippen und Zähnen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Dieses zu optimieren ist ein häufiger Wunsch der Patienten im Rahmen einer zahnmedizinischen Behandlung. Form, Farbe, Stellung und Größe unsere Zähne können durch verschiedene Arten von Kronen, Veneers und/oder Brücken ästhetisch verbessert werden. Bei gegebener Indikation sind keramische Restaurationen der Goldstandard für diesen Anwendungsbereich und zeichnen sich durch hohe Festigkeit und sehr gute ästhetische Eigenschaften aus. Es sind jedoch

nur wenige dentale Keramiken verfügbar, die auch für Patienten mit Bruxismus zugelassen sind.

Eine Alternative zu indirekten keramischen Restauration ist die Werkstoffklasse der CAD/CAM-Komposite, welche häufig auch bei Bruxismus angewendet werden können. Diese sind Verbundwerkstoffe aus anorganischen Füllstoffen, die in einem Polymernetzwerk eingebettet sind. Es gibt dabei unterschiedliche Herstellungsverfahren. Über das CAD/CAM-Verfahren können die Restaurationen aus Blöcken beziehungsweise Ronden hergestellt werden. Dabei sind die mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften im Vergleich zu den direkten Kompositen verbessert. Darüber hinaus können sie *chairside* mit lichthärtenden Malfarben individualisiert werden.

Im Rahmen unserer Studie sollte die Praxistauglichkeit der *chairside*-Individualisierung von Kronen aus CAD/CAM-Komposit dargestellt werden. Hierzu haben 13 unerfahrene Probanden (Zahnmedizinstudierende im 4. Studienjahr) und 13 erfahrene Probanden (Zahntechniker) zwei Seitenzahnkronen (Zähne 16 und 36) nach dem Vorbild einer vorgegebenen Referenzkrone individualisiert. Die Kronen wurden mittels CAD/CAM-Verfahren aus *Grandio blocs* (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) der Zahnfarbe A2 hergestellt. Zur Individualisierung stand ein lichthärtendes Komposit (Final Touch, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland), welches anschließend mit einem niedrig-viskösem Komposit (GrandioSo Flow, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) überschichtet wurde, zur Verfügung. Im Anschluss füllten die Probanden einen Bewertungsbogen mit den Parametern Polierbarkeit, Applikation, Verarbeitungszeit und Gesamteindruck aus. Zwei unabhängige Zahntechnikermeister bewerteten die Kronen hinsichtlich Form, Farbe, Politur, Einschlüssen, Okklusion und der Gesamtqualität.

Im Hinblick auf die benötigte Zeit konnte festgestellt werden, dass es bei beiden Anwendergruppen zu einer deutlichen Reduzierung der Herstellungsdauer kam: die unerfahrenen Anwender benötigten für die erste Krone 51 Minuten und für die zweite Krone lediglich 37 Minuten während die erfahrenen Anwender die erste Krone in 36 Minuten und die zweite Krone in 25 Minuten individualisierten. Die Zahntechnikermeister bewerteten den Gesamteindruck bei mehr als 90% der Kronen als sehr gut bis befriedigend.

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die *chairside*-Individualisierung eine praktikable Möglichkeit ist Restaurationen aus CAD/CAM-Komposit zeitsparend und technikarm zu optimieren, um ein ästhetisch ansprechendes Ergebnis zu erreichen. Der Erfahrungsgrad des Anwenders ist dabei wenig relevant, um eine qualitativ hochwertige Individualisierung zu generieren.

4. Literaturverzeichnis

1. Barrett, L.F., et al., *Emotional Expressions Reconsidered: Challenges to Inferring Emotion From Human Facial Movements*. Psychol Sci Public Interest, 2019. **20**(1): p. 1-68.
2. Schünke, M.S., E; Schumacher, U; Voll, M; Wesker, K *PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie*. Kopf, Hals und Neuroanatomie. 2009: Georg Thieme Verlag.
3. Ekman, P., E.R. Sorenson, and W.V. Friesen, *Pan-cultural elements in facial displays of emotion*. Science, 1969. **164**(3875): p. 86-8.
4. Ekman, P., *Are there basic emotions?* Psychol Rev, 1992. **99**(3): p. 550-3.
5. Ekman, P., *Darwin, deception, and facial expression*. Ann N Y Acad Sci, 2003. **1000**: p. 205-21.
6. Godinho, J., R.P. Goncalves, and L. Jardim, *Contribution of facial components to the attractiveness of the smiling face in male and female patients: A cross-sectional correlation study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2020. **157**(1): p. 98-104.
7. Laus, I., et al., *Effects of Visual Stimuli from Media on the Perception of Dentofacial Esthetics*. Acta Stomatol Croat, 2020. **54**(3): p. 283-293.
8. Teixeira, R., et al., *Exploring the association between genetic and environmental factors and molar incisor hypomineralization: evidence from a twin study*. Int J Paediatr Dent, 2018. **28**(2): p. 198-206.
9. Malmberg, P., J.G. Noren, and D. Bernin, *Molecular insights into hypomineralized enamel*. Eur J Oral Sci, 2019. **127**(4): p. 340-346.
10. Rauch, A., et al., *Material selection for tooth-supported single crowns-a survey among dentists in Germany*. Clin Oral Investig, 2021. **25**(1): p. 283-293.
11. Makhija, S.K., et al., *Dentist material selection for single-unit crowns: Findings from the National Dental Practice-Based Research Network*. J Dent, 2016. **55**: p. 40-47.
12. Kern, M., *Vollkeramik auf einen Blick: Leitfaden zur Indikation, Werkstoffauswahl, Vorbereitung und Eingliederung von vollkeramischen Restaurationen, 6. Auflage Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde, Ettlingen*. 2015.
13. Al-Amleh, B., et al., *Influence of veneering porcelain thickness and cooling rate on residual stresses in zirconia molar crowns*. Dent Mater, 2014. **30**(3): p. 271-80.
14. Sliney, D.H., *What is light? The visible spectrum and beyond*. Eye (Lond), 2016. **30**(2): p. 222-9.
15. Thoreson, W.B. and D.M. Dacey, *Diverse Cell Types, Circuits, and Mechanisms for Color Vision in the Vertebrate Retina*. Physiol Rev, 2019. **99**(3): p. 1527-1573.
16. Bayrhuber, H., *Linder Biologie - Lehrbuch für die Oberstufe*. 2005, Braunschweig: Schroedel.
17. ten Bosch, J.J. and J.C. Coops, *Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness*. J Dent Res, 1995. **74**(1): p. 374-80.
18. Vaarkamp, J., J.J. ten Bosch, and E.H. Verdonschot, *Propagation of light through human dental enamel and dentine*. Caries Res, 1995. **29**(1): p. 8-13.
19. Pustina-Krasniqi, T., et al., *The relationship between tooth color, skin and eye color*. Eur Oral Res, 2018. **52**(1): p. 50-55.
20. *VITA classical A1-D4 Farbskala*.
21. Ongul, D., B. Sermet, and M.C. Balkaya, *Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system*. J Prosthet Dent, 2012. **108**(1): p. 9-14.

22. Hassel, P.D. *Update zur klinischen Zahnfarbbestimmung*. zmk-aktuell.de 2018 [cited 2022 06 February].
23. *VITA Easyshade - Optimale Farbbestimmung, maximale Sicherheit*. vita-zahnfabrik.com [cited 2022 06 February].
24. Preethi Suganya, S., et al., *Spectrophotometric Evaluation of Shade Selection with Digital and Visual Methods*. J Pharm Bioallied Sci, 2020. **12**(Suppl 1): p. S319-S323.
25. Sailer, I., et al., *Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up*. Int J Prosthodont, 2009. **22**(6): p. 553-60.
26. Sailer, I., et al., *Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures*. Int J Prosthodont, 2007. **20**(4): p. 383-8.
27. Chaiyabutr, Y., et al., *The effect of hydrofluoric acid surface treatment and bond strength of a zirconia veneering ceramic*. J Prosthet Dent, 2008. **100**(3): p. 194-202.
28. Kimmich, M. and C.F. Stappert, *Intraoral treatment of veneering porcelain chipping of fixed dental restorations: a review and clinical application*. J Am Dent Assoc, 2013. **144**(1): p. 31-44.
29. Habib, S.R., et al., *Shear Bond Strength of Veneered Zirconia Repaired Using Various Methods and Adhesive Systems: A Comparative Study*. Polymers (Basel), 2021. **13**(6).
30. Lavigne, G.J., et al., *Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians*. J Oral Rehabil, 2008. **35**(7): p. 476-94.
31. Lambert, H., et al., *Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art*. J Adv Prosthodont, 2017. **9**(6): p. 486-495.
32. Ferracane, J.L., *Resin composite--state of the art*. Dent Mater, 2011. **27**(1): p. 29-38.
33. Mainjot, A.K., et al., *From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites*. J Dent Res, 2016. **95**(5): p. 487-95.
34. Peutzfeldt, A. and E. Asmussen, *The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two resin composites*. J Dent, 2000. **28**(6): p. 447-52.
35. Firlej, M., et al., *Effect of Artificial Aging on Mechanical and Tribological Properties of CAD/CAM Composite Materials Used in Dentistry*. Materials (Basel), 2021. **14**(16).
36. Nguyen, J.F., et al., *Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization*. Dent Mater, 2012. **28**(5): p. 529-34.

5. Anlagen

keine

6. Darstellung des eigenen Beitrags

Hiermit bestätigen die Co-Autoren den Beitrag des Promovenden Dominic Gold an folgenden Arbeitsschritten dieser wissenschaftlichen Arbeit:

- Erarbeiten der Idee in Zusammenarbeit mit PD Dr. Angelika Rauch
- Entwicklung des Versuchsaufbaus in Zusammenarbeit mit PD Dr. Angelika Rauch
- Herstellung und Individualisierung der Referenzkronen
- Vorbereitung des Versuchsablaufes (Herstellung der Gipsmodelle, Montage der Gipsmodelle)
- Herstellung der 52 CAD/CAM-Kronen zur späteren Individualisierung
- Überwachung des Versuchsablaufs
- Erstellen des Manuskripts und Korrekturen gemäß Monita seitens PD Dr. Angelika Rauch und Professor Dr. Sebastian Hahnel

PD Dr. Oliver Schierz

~~Prof. Dr. Sebastian Hahnel~~
Prof. Dr. Sebastian Hahnel
Direktor der Poliklinik
für Zahnärztliche Prothetik
und Werkstoffkunde

und PD Dr. Angelika Rauch, M.Sc.

7. Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

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

Datum

Dominic Gold

8. Lebenslauf

9. Publikationen

„CAD/CAM-Komposite- Möglichkeiten der Charakterisierung anhand eines Fallbeispiels

Quintessenz Zahntechnik 11/2018, IF n.n.

„Practicability of a chairside approach for characterizing CAD/CAM resin-based composites”

Journal of Oral Science 09/2020, IF 1,741

10. Danksagung