

Tina Willmen, Steve Plehn, Meike Stiesch, Michael Eisenburger, Philipp-Cornelius Pott

Belastbarkeit von dreigliedrigen CAD/CAM-Kompositbrücken im Seitenzahnbereich in vitro

Indizes: CAD-CAM-Materialien, CAD/CAM-Technologie, digitale Zahnmedizin, Nanohybridkomposite, Seitenzahnbrücke

Einführung: CAD/CAM-Nanohybridkomposite sind als Material für Langzeitprovisorien (LZPV) im Rahmen präprothetischer Versorgungen aufgrund ihrer guten Stabilität und der Möglichkeit der additiven und subtraktiven Formgestaltung bei gleichzeitig geringen Material- und Verarbeitungskosten etabliert. Ob sich Nanohybridkomposite auch für definitive Versorgungen im Seitenzahnbereich als Alternativmaterial zu Keramiken eignen, muss noch geklärt werden. Ziel dieser Studie war es daher, die Belastbarkeit von Seitenzahnbrücken aus einem Nanohybridkomposit (Grandio disc, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) im Vergleich zu formgleichen Brücken aus Lithiumdisilikat-Keramik (IPS e.max CAD, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) nach simulierter Alterung mittels Kausimulation und Thermocycling zu untersuchen. **Material/Methoden:** Es wurden jeweils acht Seitenzahnbrücken aus Grandio disc und aus IPS e.max CAD im CAD/CAM-Verfahren hergestellt. Die Brücken wurden mittels Adhäsivtechnik (Ceramic Bond/Bifix QM, VOCO GmbH) auf gedruckten Pfeilerstümpfen zementiert. Zur Simulation des Parodonts wurde eine dünne Latexschicht auf die Wurzeläquivalente der gedruckten Stümpfe aufgebracht. Die so vorbereiteten Proben wurden mit den Wurzelanteilen in Polyurethan eingebettet. Die künstliche Alterung erfolgte durch 750.000 Belastungszyklen (50 N) im Kausimulator bei parallel ablaufender Thermowechselbelastung (9.000 Zyklen, 5 °C bis 55 °C). Im Anschluss wurden alle Probekörper einer Bruchlastprüfung bis zum Totalversagen unterzogen. **Ergebnisse:** Bei den Nanohybridkompositbrücken konnte bereits vor dem Totalversagen bei einer Kraft von $642,4 \pm 115,9$ N ein Lastabfall beobachtet werden, der jedoch nicht zum Totalversagen führte und als erste plastische Verformung interpretiert wurde. Die Nanohybridkompositbrücken versagten bei einer Kraft von $755,7 \text{ N} \pm 106,1$ N, während die aus IPS e.max CAD hergestellten Keramikbrücken bei einer signifikant geringeren Kraft von $573,5 \text{ N} \pm 57,3$ N versagten ($p = 0,010$). **Schlussfolgerungen:** Hinsichtlich der in dieser Studie erhobenen Parameter präsentiert sich das Nanohybridkomposit als ein vielversprechendes Material für den mittel- und langfristigen intraoralen Einsatz bei definitiven Seitenzahnbrücken.

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten

Dieser Artikel befasst sich mit der Belastbarkeit von Restaurationen aus CAD/CAM-Nanohybridkompositen und geht der Frage nach, ob CAD/CAM-Nanohybridkomposite bei Brücken im Seitenzahnbereich eine Materialalternative zur Keramik sein können.

EINLEITUNG

Mit der zunehmenden Verbreitung computergestützter Fertigung fest-sitzender Restaurationen in zahnärztlichen Praxen entwickelt sich auch das Angebot dentaler Werkstoffe stetig weiter. Während in den Anfängen der CAD/CAM-Technologie der Fokus auf der Anwendung in Kombination mit keramischen Werkstoffen lag, werden in den letzten Jahren immer mehr CAD/CAM-Materialien auf Kompositbasis entwickelt¹⁵. Insbesondere die kurzen frästechnischen Fertigungs- und Nachbearbeitungszeiten sowie eine einfache Politur von Kronen oder Brücken aus kompositbasierten Materialien machen diese interessant für die CAD/CAM-Fertigung direkt in der zahnärztlichen Praxis.

Im Vergleich zu direkt verarbeitbaren Kompositmaterialien für die Füllungstechnik wurden durch den industriellen Herstellungsprozess der Materialrohlinge die Eigenschaften von CAD/CAM-Kompositen optimiert:

Manuskript:
Eingang: 25.04.2024
Annahme: 01.07.2024

Mittels der hohen Verarbeitungstemperaturen und des großen Drucks bei der industriellen Materialherstellung wurde die Biokompatibilität gesteigert^{11,19}. Darüber hinaus begünstigt der große Druck im Herstellungsprozess einen hohen Füllstoffgehalt und minimiert die Entstehung von Porositäten, was dann aufgrund einer verbesserten Homogenität zu einer erhöhten Belastbarkeit des Materials führt⁶. Basaran et al. konnten belegen, dass mit wachsendem Füllstoffgehalt die Belastbarkeit CAD/CAM-gefertigter Kompositbrücken ansteigt und dass diese CAD/CAM-Brücken manuell gefertigten Versorgungslösungen überlegen waren³. Shembish et al. haben in vitro das Ermüdungsverhalten von anatoformen CAD/CAM-Kronen aus einem Nanohybridkomposit mit 80 % Keramikfüllstoffanteil (Lava Ultimate) mit dem von Kronen aus IPS-Empress CAD verglichen. Die Kronen aus IPS-Empress CAD frakturierten alle bei einer Belastung um 450 N. Die Kronen aus Nanohybridkomposit zeigten lediglich oberflächliche Beschädigungen, hielten dieser Belastung ansonsten jedoch stand²⁵. Stawarczyk et al. kamen 2009 in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass CAD/CAM-gefräste Brücken aus Kunststoff den im Molarenbereich zu erwartenden Kaukräften von ca. 400 N problemlos widerstehen können, während im direkten Verfahren hergestellte Versorgungslösungen aus Autopolymerisat diesen Kaukräften nicht standhalten können²⁷. Zu ähnlichen Werten hinsichtlich der zu erwartenden Kaukraft von ca. 400 N kamen auch Rues et al. in ihrer Arbeit aus dem Jahr 2011²¹. Alt et al. konnten zeigen, dass dreigliedrige Brücken, die im CAD/CAM-Verfahren aus PMMA hergestellt worden waren, signifikant höher belastbar waren als entsprechende Brücken aus Autopolymerisat. Darüber hinaus konnten sie zeigen, dass die computergestützt gefertigten Brücken unempfindlicher gegen künstliche Alterung waren¹. Dank des geringeren E-Moduls wird zudem der Kaudruck besser gedämpft als bei keramischen Versorgungslösungen, was den hier zitierten Autoren zufolge das Tragegefühl für den Patienten verbessert^{4,17}. Andere Autoren weisen überdies auf die wirtschaftlichen Vorteile von CAD/CAM-Kompositen im Vergleich zu keramischen Werkstoffen hin: den geringeren Fräserverschleiß und die Zeitersparnis dank des Wegfalls des Brennvorgangs bei der Verarbeitung^{18,22}.

Kritisch zu sehen ist ein multifaktoriell bedingtes Debonding bei CAD/CAM-Kompositversorgungslösungen, das der häufigste Grund für ein Versagen der Restaurationen ist⁷. Neben Debonding berichten Autoren über eine im Verhältnis zur Keramik schlechtere Farbstabilität von kompositbasierten CAD/CAM-Materialien^{2,9}. In den vergangenen Jahren wurden Studien veröffentlicht, die festsitzende Versorgungslösungen aus Kompositen in verschiedenen Modifikationen untersucht haben. Unlu und Belli fanden eine Überlebensrate bei dreigliedrigen Brücken von 78,3 % nach drei Jahren²⁸. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Van Heumen et al., die dreigliedrige Seitenzahnbrücken aus glasfaserverstärktem Komposit eine Überlebensrate von 77,5 % bei einer Erfolgsrate von 71,2 % nach fünf Jahren Beobachtungsdauer attestieren. Diese Autorengruppe konnte weiterhin zeigen, dass Frontzahnbrücken aus glasfaserverstärktem Komposit eine Überlebensrate von 64 % und eine Erfolgsrate von

45 % aufwiesen²⁹. In Zusammenschau zeigen die Ergebnisse dieser Studien, dass kompositbasierte Versorgungslösungen in den untersuchten Formen hinsichtlich ihrer mittelfristigen Überlebensraten heute noch nicht mit keramischen Werkstoffen mithalten können. In einigen Ländern konnte sich CAD/CAM-gefräster Zahnersatz aus Komposit dennoch bereits als definitive Versorgung etablieren³¹. Beispielsweise werden in Japan Kompositkronen seit 2014 von Krankenversicherungen bezuschusst^{7,31}. Inomata et al. führen die zunehmende Versorgung mit Kunststoffkronen in Japan auf die im Vergleich zu anderen Materialien niedrigeren Herstellungs- und Materialkosten und das geringe allergene Potenzial von CAD/CAM-Kompositen zurück⁷. Auch einzelne Fälle, die in Deutschland mit Restaurationen aus CAD/CAM-Komposit erfolgreich versorgt worden sind, sind mittlerweile publiziert^{16,18}.

Die gute Reparaturfähigkeit und die Möglichkeit, additiv und subtraktiv Veränderungen am Werkstoff vorzunehmen, machen CAD/CAM-Komposite zu einem besonders geeigneten Material für die Herstellung von Langzeitprovisorien (LZPV). LZPV sind eine temporäre Versorgungsoption für Zähne mit unklarer parodontaler oder endodontischer Prognose, können aber auch während chirurgischer Ausheilungsphasen oder zur funktionellen Vorbehandlung eingesetzt werden^{5,6}.

Die oben genannten Studien machen Hoffnung, dass mit modernen kompositbasierten CAD/CAM-Materialien Werkstoffe zur Verfügung stehen, die es ermöglichen, die Vorteile digitaler Prozessketten mit Kostenreduktion und erhöhter Zeiteffizienz zu verbinden und gleichzeitig das Risiko von Komplikationen zu reduzieren. Die Zahl aktueller Studien zu diesen Materialien ist jedoch für evidenzbasierte Empfehlungen noch zu gering.

Daher war es das Ziel dieser Studie, im In-vitro-Versuch zu untersuchen, ob Seitenzahnbrücken aus einem CAD/CAM-Komposit und keramische Seitenzahnbrücken, die auf der Grundlage eines identischen Datensatzes ohne zusätzliche Modifikation der Geometrie hergestellt wurden, in gleicher Weise belastbar sind und der zu erwartenden Kaubelastung im Seitenzahnbereich standhalten können. Um die potenzielle Eignung von kompositbasierten Brücken auch als langfristige Versorgungslösungen zu prüfen, wurde der Einfluss von künstlicher Alterung durch 750.000 Zyklen Kausimulation und 9.000 Zyklen Thermocycling auf die Belastbarkeit der Brücken untersucht.

MATERIAL UND METHODE

An der Medizinischen Hochschule Hannover wurde zur Testung der Belastbarkeit von Brücken ein Verfahren zur Probekörperherstellung entwickelt, das die Zahnbeweglichkeit im Parodont im klinisch relevanten Bereich zwischen 50 µm und 200 µm mit berücksichtigt^{23,24}. Da die S3-Leitlinie für vollkeramische Restaurationen der DGZMK nur eine Evidenz für dreigliedrige vollkeramische Brücken ausweist⁸, wurde dieses Protokoll für die vorliegende Studie entsprechend angepasst.

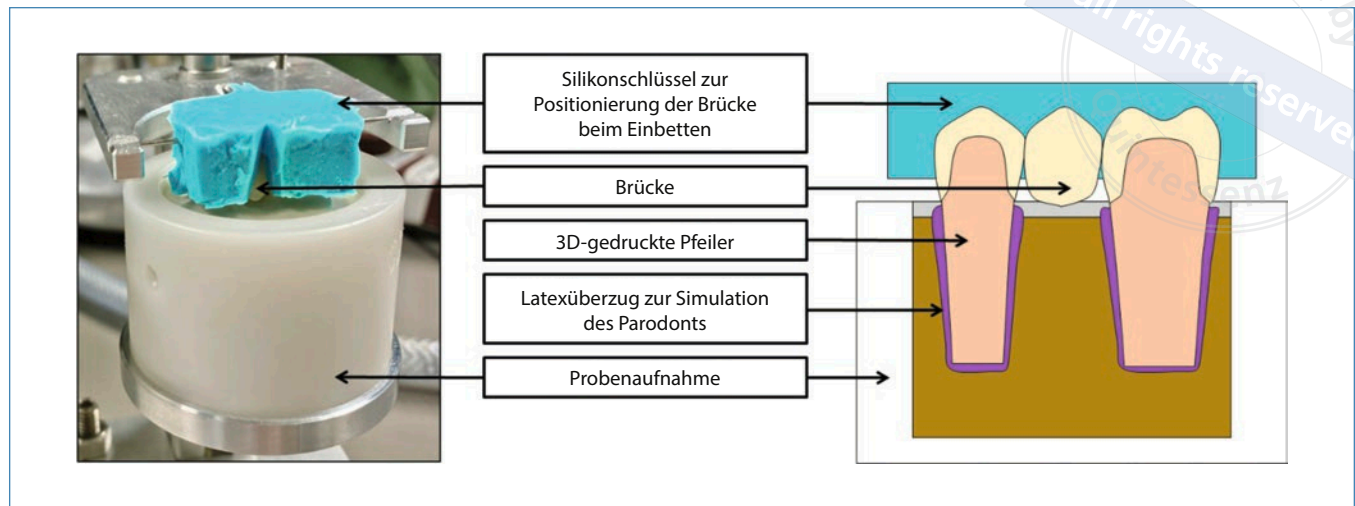


Abb. 1 Probekörper in Einbettapparat direkt nach dem Einbetten (links), Schnittbild des Probekörpers mit aufgesetztem Silikonschlüssel (rechts)

Für die Herstellung aller Brücken wurden die Zähne 14 und 16 (AG-3, Frasaco, Tettang, Deutschland) präpariert. Da Brücken aus Komposit mit Keramikbrücken aus Lithiumdisilikat verglichen werden sollten, wurde entsprechend den Präparationsrichtlinien der Firma IVOCLEAR für Keramikrestaurationen im Seitenzahnggebiet ein Substanzabtrag sowohl zirkulär als auch okklusal von 1,5 mm gewählt. Zur Sicherstellung einer einheitlichen Konizität wurden die Zähne in die entsprechende Modellbasis (Frasaco AG-3, Frasaco, Tettang, Deutschland) eingesetzt und mit einer Hartmetallfräse (H356RSE.123.040, Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland) mit einem passenden Konuswinkel von 6 Grad in einem Parallelschleifgerät (Degudent F4-basic) beschliffen. Die Kontrolle des Substanzabtrags erfolgte mithilfe zuvor gefertigter Silikonschlüssel. Die digitale Datenerfassung, das Brückendesign und die Fertigung der Restaurationen erfolgten im CEREC-Workflow der Firma Dentsply-Sirona (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland). Zur Festlegung der Herstellungsparameter wurde die in der CEREC-Software (CEREC SW, Version 5.2.9, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland) hinterlegte Voreinstellung für IPS e.max CAD gewählt. Das Brückendesign erfolgte automatisch durch individuelle biogenetische Berechnung, ebenfalls durch die CEREC-Software. Es wurden jeweils acht Seitenzahnbrücken aus Nanohybridkomposit (Grandio disc, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) und aus Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max CAD, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) für die Prüfung des Alterungseinflusses hergestellt. Das in dieser Studie untersuchte Nanohybridkomposit Grandio disc (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) ist ebenfalls bereits für die definitive Versorgung einzelner Zähne mit Kronen, Inlays, Onlays, Veneers und für implantatgetragene Kronen zugelassen. Die Verarbeitung des Rondenmaterials Grandio Disc erfolgte mit einer MCX5-Fräseinheit (Sirona Dental Systems GmbH,

Bensheim, Deutschland), die IPS e.max CAD-Blöcke wurden in einer MCXL-Fräseinheit (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland) verarbeitet. Die Brücken aus IPS e.max CAD wurden nach dem Fräsvorgang entsprechend den Herstellerangaben gesintert (Speedfire, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland). Eine Politur der Kompositbrücken bzw. Glasurbrände der Keramikbrücken erfolgte nicht, um Formveränderungen einzelner Brücken insbesondere im Okklusalbereich sicher auszuschließen. Mittels Rapid Prototyping wurden für jede einzelne Brücke Duplikate der beschliffenen Pfeilerzähne 14 und 16 (Digitalwax RD 096 Ivory, DWS s.r.l., Thiene, Italien) hergestellt. Es handelt sich dabei um ein nanogefülltes Resinstumpfmateriale, das speziell für die Herstellung von Modellstümpfen nach digitalen Abformungen zugelassen ist. Jeweils ein Duplikat von 14 und 16 wurde den Brücken zufällig zugeordnet. Bei den Keramikbrücken war keine Anpassung an die Stumpfmodelle erforderlich. Die Kompositbrücken mussten in wenigen Fällen minimal auf die Pfeilerzahnduplikate aufgepasst werden. Alle Brücken wurden mit Alkohol gereinigt und mit ölfreier Luft getrocknet. Die Befestigung der Brücken auf den Pfeilerzahnduplikaten erfolgte adhäsiv. Als Haftvermittler wurde Ceramic Bond (VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) gemäß Herstellerangaben verwendet. Der Haftvermittler wurde in den Lumina der Ankerkronen aufgetragen und nach einer Einwirkzeit von 60 Sekunden für fünf Sekunden mit ölfreier Luft verblasen. Die Brücken wurden anschließend mit einem dualhärtenden Befestigungskomposit (Bifix QM, VOCO GmbH, Cuxhaven, Deutschland) auf den Pfeilern zementiert. Die Probekörper wurden je Pfeilerzahn von allen Seiten für 20 Sekunden pro Seite lichtgehärtet.

Zur Simulation der physiologischen Mobilität von Zähnen wurden die Wurzeläquivalente der Pfeilerzahnduplikate mit einer dünnen Latexschicht (Erkoskin, Erkodent GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland)

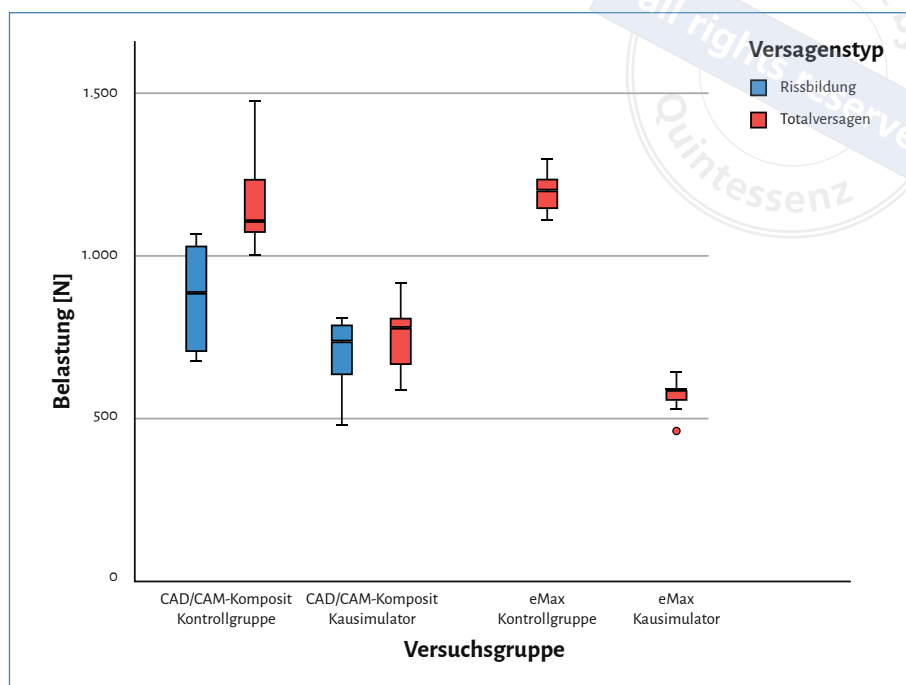


Abb. 2 Belastung bei Rissbildung und bei Totalversagen

überzogen und nach Aushärtung mit Polyurethan (Alpha Die MF, Schütz Dental, Rosbach, Deutschland) jeweils in eine Probenaufnahme für die thermomechanische Wechselbelastung im Kausimulator eingebettet. Zur Sicherstellung der identischen Position aller eingebetteten Proben wurde eine für diese Zwecke in der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde der Medizinischen Hochschule Hannover entwickelte Einbettapparatur verwendet (Abb. 1).

Alle Probekörper wurden vor der künstlichen Alterung für 24 Stunden in einem Wasserbad bei 36 °C gelagert. Zur künstlichen Alterung wurden die Probekörper über einen kugelförmigen Stempel mit einem Durchmesser von 6 mm für 750.000 Zyklen mit jeweils 50 N bei parallel ablaufender Thermowechselbelastung über 9.000 Zyklen zwischen 5 °C und 55 °C im Kausimulator (CS-4, SD Mechatronik, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) belastet.

Die Krafteinwirkung erfolgte jeweils im Bereich des Interdentaltalraums zwischen der Ankerkrone 16 und dem Brückenglied 15, die Hubstrecke betrug 2 mm mit einer Bewegungsgeschwindigkeit von 20 mm/s. Alle Proben wurden während der insgesamt achttägigen künstlichen Alterung täglich visuell auf Chipping/Frakturen, Dezementierungen und sichtbare Risse überprüft. Die übrigen Proben dienten als Kontrollgruppen.

Im Anschluss an die künstliche Alterung wurden die Probekörper nach erneuter 24-stündiger Lagerung in einem Wasserbad bei 36 °C im Druckversuch in einer Universalprüfmaschine UTS RetroLine (Zwick-Roell GmbH & Co. KG, Ulm, Deutschland) bis zum Totalversagen belastet. Dazu wurde eine Stahlkugel, ebenfalls mit einem Durchmesser von

6 mm, zunächst lastfrei wieder an dem Punkt über dem Interdentaltalraum zwischen der Ankerkrone 16 und dem Brückenglied 15 positioniert, an dem bereits auch die Lasteinwirkung während der künstlichen Alterung im Kausimulator erfolgt war. Die Proben wurden bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm/min bis zum Versagen belastet. Die bis zum Versagen der Probe angelegte Kraft wurde mit einer Prüfsoftware (TestXpert, Zwick/Roell) gemessen und für jede Probe in einem Kraft-Weg-Diagramm aufgezeichnet. Im Versuchsablauf wurde ein Versagen der Probe dann angenommen, wenn entweder ein maximaler Vorschub der Traverse von 4 mm erfolgt oder ein Lastabfall von 20 % gegenüber der bis dahin erreichten maximalen Kraft gemessen worden war. Das Bruchverhalten der Brücken wurde während der Belastung in der Universalprüfmaschine beobachtet und visuell analysiert. Die statistische Auswertung erfolgte mittels ANOVA und Tukey-Test. Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt (SPSS, Vers. 28.01.1, IBM Corp., Armonk, New York, USA).

ERGEBNISSE

Bei keinem Probekörper konnten im Verlauf der künstlichen Alterung Chipping/Frakturen oder Risse visuell festgestellt werden. Es traten auch keine Dezementierungen der Probekörper auf. Dementsprechend wurden alle Proben dem Bruchversuch zugeführt. Während des Bruchversuchs kam es bei einem Probekörper aus Lithiumdisilikatkeramik zu einer fehlerhaften Aufzeichnung bei der Messung, sodass die Daten aus dieser Messung von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten.

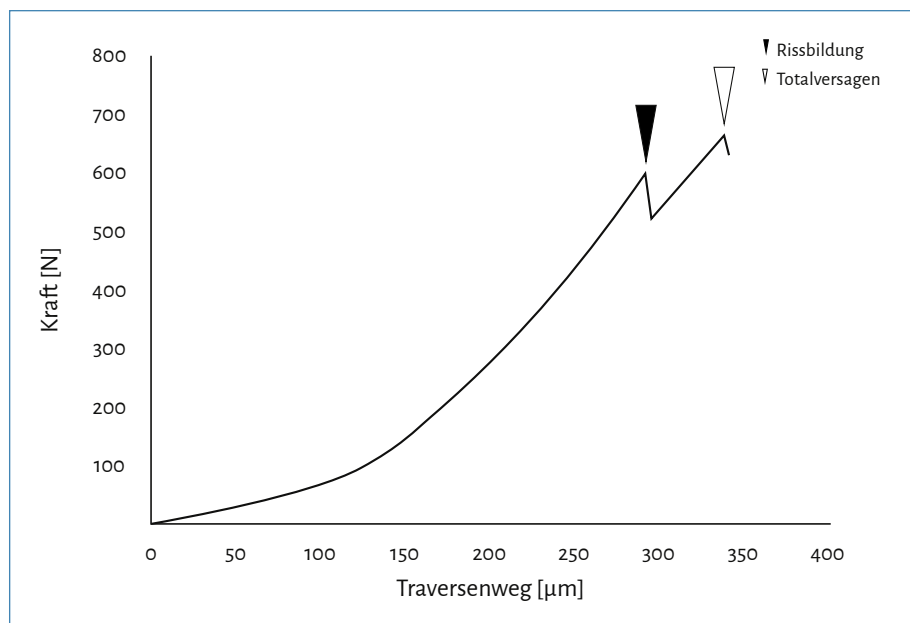


Abb. 3 Exemplarisches Kraft-Weg-Diagramm eines Probekörpers aus CAD/CAM-Komposit (Grandio disc)

Abbildung 2 stellt die Ergebnisse der Bruchlastuntersuchung der gealterten Versuchsgruppen korrespondierenden ungealterten Kontrollgruppen aus der bereits oben erwähnten Parallelstudie für beide Materialien gegenüber.

Der Einzelvergleich der Versuchsgruppen nach Kausimulation zeigte, dass die erforderliche Kraft bis zum Totalversagen bei CAD/CAM-Kompositbrücken ($755,7 \text{ N} \pm 106,1 \text{ N}$) signifikant größer war als bei den Brücken aus Lithiumdisilikatkeramik ($573,5 \text{ N} \pm 57,3 \text{ N}$) ($p = 0,010$). Der Vergleich mit den nicht gealterten Kontrollgruppen zeigte, dass die künstliche Alterung sowohl bei den Kompositbrücken ($p < 0,001$) als auch bei den Brücken aus Lithiumdisilikat ($p < 0,001$) zu einer signifikanten Reduktion der Belastbarkeit bis zum Totalversagen führte.

Bei der Belastung der Brücken aus CAD/CAM-Komposit wurde bereits vor dem Totalversagen der Proben im Kraft-Weg-Diagramm ein Lastabfall aufgezeichnet (Abb. 3).

Dieser Lastabfall ist nach Auffassung der Autoren auf die duktilen Eigenschaften von kompositbasierten Werkstoffen zurückzuführen und kann somit als das Äquivalent zu einer ersten Verformung oder Rissbildung im Werkstoff interpretiert werden.

Bei den ungealterten Proben trat diese erste Verformung im Bereich von $875,7 \text{ N} \pm 163,4 \text{ N}$ signifikant früher auf als das Totalversagen ($1.168,4 \text{ N} \pm 152,2 \text{ N}$) ($p < 0,001$). Bei den gealterten Kompositbrücken konnte kein signifikanter Unterschied zwischen erster Verformung und Totalversagen gefunden werden ($p = 0,978$). Auch der Vergleich der gealterten mit den ungealterten Kompositbrücken blieb hinsichtlich sowohl des Totalversagens ($p = 0,995$) als auch der Verformung ($p > 0,999$) ohne statistische Signifikanz.

In den Abbildungen 4a und 4b sind die Bruchmuster dargestellt, die in der Kontrollgruppe (Abb. 4a) und der Versuchsgruppe (Abb. 4b) während der Belastungsprüfung der Keramikbrücken in der Universalprüfmaschine entstanden sind. Bei den Keramikbrücken kam es sowohl in der Kontrollgruppe¹⁶ als auch in der Versuchsgruppe bei allen Brücken zu einer durchgängigen Fraktur im Bereich des Verbinders. In der Versuchsgruppe der gealterten Keramikbrücken waren in vier Fällen zusätzlich Frakturen im vestibulären Bereich des Molaren zu sehen.

Bei den kompositbasierten Brücken hingegen kam es in der Hälfte der Fälle zu einem graziilen Anriss vestibulär im Bereich des Verbinders. Vier Proben zeigten einen feinen vestibulororal verlaufenden Riss. Weitere Frakturen, wie sie bei den Keramikbrücken in der Versuchsgruppe aufgetreten sind, wurden weder in der Versuchsgruppe noch in der Kontrollgruppe¹⁶ beobachtet (Abb. 5a und 5b).

DISKUSSION

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Überprüfung der Eignung von CAD/CAM-gefertigten dreigliedrigen Seitenzahnbrücken aus Komposit als definitive Versorgung hinsichtlich der mechanischen Belastbarkeit nach Alterungssimulation in vitro. Alle in der vorliegenden Studie untersuchten Brücken erreichten die unter anderem von Stawarczyk et al. und Rues et al. beschriebene erforderliche Belastbarkeit für Brücken im Seitenzahnbereich von mehr als 400 N ^{21, 27}. Die in dieser Studie gefundenen Ergebnisse werden dadurch limitiert, dass es sich um eine In-vitro-Studie mit simulierter Alterung über einen zuvor definierten Zeitraum unter Laborbedingungen handelt. Die künstliche Alterung

mittels Kausimulation und Thermocycling entspricht in Summe einem Zeitraum von mindestens 3 Jahren klinischer Nutzung. Es muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass das Verfahren der Kausimulation zwar eine bewährte Methode zur künstlichen Alterung ist, aber insofern limitiert ist, als ein Modell die komplexen intraoralen Einflüsse eines Individuums, z. B. die unterschiedlichen Belastungsrichtungen während des Kauvorgangs, nicht vollständig abbilden kann. Auch die Speichelzusammensetzung oder nutritive Einflüsse könnten sich auf die Eigenschaften der untersuchten Materialien auswirken²⁶. Entsprechend Rues et al. spielt auch die Steifheit der Proben eine Rolle bei der Kausimulation. Dabei gilt, dass die zugehörigen Kontaktkräfte ansteigen, je härter eine Probe ist²⁰. Diesem Effekt wird in dieser Studie durch die Simulation des Parodontalspalts mittels Latex begegnet, was sich auch in den Ergebnissen insofern widerspiegelt, als sich die korrespondierenden Vergleichsgruppen zwischen den unterschiedlichen Materialien nicht voneinander unterscheiden.

Die Ergebnisse dieser Studie ordnen sich wie folgt in die vorhandene Datenlage ein: Basaran et al. haben im Vergleich zu der vorliegenden Studie Brücken zum Ersatz eines Molaren geprüft. Die von Basaran et al. gefundene höhere Belastbarkeit ist auf die größeren Verbinderbereiche und Materialstärken von Brücken zum Ersatz von Molaren zurückführbar³. Mangoush et al. haben die Belastbarkeit von Seitenzahnbrücken aus Komposit mit der von Brücken aus Glaskeramik verglichen und kommen zu dem Ergebnis, dass die Kompositbrücken höheren Belastungen standhalten als Keramikbrücken. Künstliche Alterung führte zu reduzierter Belastbarkeit¹⁴. Diese Daten unterstützen die Ergebnisse der vorliegenden Studie. Shembish et al. haben bei visueller Untersuchung von Molarenkronen aus Glaskeramik und Nanohybridkomposit nach stufenweiser Ermüdungsbelastung deutliche Unterschiede bei der Frakturresistenz der Materialien beobachten können. Während es bei den Kompositkronen zu oberflächlicher Abnutzung und grazen Rissen kam, waren bei den Kronen aus Keramik schwerwiegende Frakturen festzustellen²⁵. Diese Beobachtungen lassen sich auf die Beurteilung der Bruchspalte der Proben aus dieser Studie projizieren. Im Gegensatz zu den keramischen Brücken kam es bei keiner der untersuchten Kompositbrücken zu Absplitterungen.

Die im Verhältnis zur Keramik besseren Ergebnisse von Grandio disc bei der Belastungsuntersuchung lassen sich wie folgt erklären: Mit einem E-Modul von 18.280 MPa laut Herstellerangabe ist Grandio disc deutlich stärker elastisch verformbar als die untersuchte Lithiumdisilikatkeramik (E-Modul: 95.000 MPa). Aufgrund ihrer elastischen Eigenschaften sind polymerbasierte CAD/CAM-Nanohybridkomposite besser in der Lage, Kaukräfte zu absorbieren¹⁰. Dementsprechend ist der in dieser Studie beobachtete Lastabfall vor dem Totalversagen der Kompositbrücken nach Auffassung der Autoren auf diese und auf die generellen duktilen Eigenschaften von kompositbasierten Werkstoffen zurückzuführen und kann somit als das Äquivalent zu einer ersten

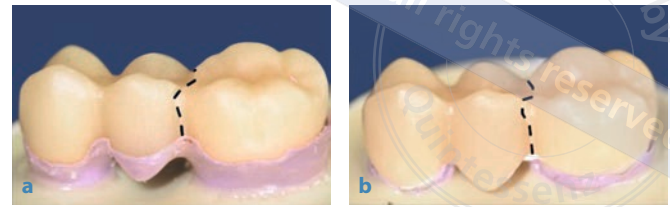


Abb. 4a und b (a) Probekörper aus Lithiumdisilikatkeramik (750.000 Belastungszyklen), (b) Probekörper aus Lithiumdisilikatkeramik (ungealtert)

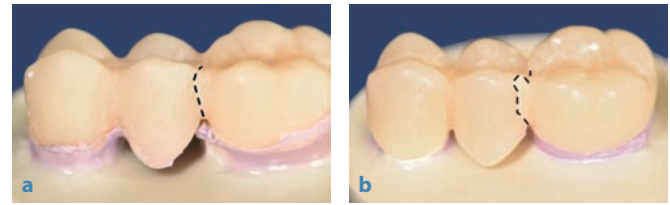


Abb. 5a und b (a) Probekörper aus Nanohybridkomposit (750.000 Belastungszyklen), (b) Probekörper aus Nanohybridkomposit (ungealtert)

Verformung oder Rissbildung im Werkstoff interpretiert werden. Die insgesamt guten Ergebnisse bei Belastungsuntersuchungen von Nanohybridkompositen lassen sich mit ihrem Füllkörpergehalt erklären. Moderne Nanohybridkomposite enthalten sowohl Partikel im Submikronbereich ($<1\ \mu\text{m}$) als auch Nanopartikel ($<100\ \text{nm}$), wodurch sich der Abstand zwischen den Partikeln verringert und sich somit die Füllstoffbeladung erhöht¹². Eine Erhöhung des Füllstoffgehalts geht wiederum mit einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften einher¹³. Der industrielle Herstellungsprozess von CAD/CAM-Nanohybridkompositen begünstigt hohe Füllstoffgehalte und verringert auch das Auftreten von Materialfehlern. Hensel et al. konnten in mikrocomputertomografischen Untersuchungen zeigen, dass Provisorien aus CAD/CAM-Kompositen im Gegensatz zu direkt gefertigten Provisorien keine Poren aufwiesen⁶. Die Kausalität zwischen dem industriellen Herstellungsprozess der Kunststoffblöcke und der Bruchlast wird auch von Stawarczyk et al. beschrieben; die Untersuchung der Bruchlast von manuell gefertigten direkten Provisorien, Eierschalenprovisorien aus dem Labor und CAD/CAM-gefrästen Provisorien nach simulierter Alterung zeigt bei den CAD/CAM-gefrästen Provisorien signifikant bessere Ergebnisse²⁷. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Brücken im Bereich des distalen Verbinders des Zwischenglieds belastet. In diesem Bereich fehlt die Unterstützung durch die Pfeilerzähne. Winter et al. haben die Belastbarkeit von CAD/CAM-gefrästen Kronen aus IPS e.max CAD mit der eines gefrästen Komposits verglichen. Sie fanden im Vergleich zu dieser Untersuchung eine teils deutlich größere Belastbarkeit. Das ist darauf zurückführbar, dass Einzelkronen untersucht worden sind und somit die Werkstoffe von den Pfeilerzähnen unterstützt

waren. Sie haben darüber hinaus auch festgestellt, dass Alterung die Belastbarkeit signifikant reduziert hat, konnten jedoch nach der Alterung keinen signifikanten Unterschied zwischen den Materialien mehr feststellen³⁰.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Grandio disc über die bereits bestehende Zulassung für definitive Einzelzahnrestorationen hinaus nicht nur als langzeitprovisorisches Material im Seitenzahnbereich, sondern auch für die Herstellung von definitivem Zahnersatz geeignet sein könnte. Um den Einfluss weiterer klinischer Parameter wie nutritiver Einflüsse, Dezentementierungsverhalten und Abrasionsstabilität auf die getesteten Materialien bewerten zu können, bedarf es weiterer Forschung. Darüber hinaus sind weitere Untersuchungen zur Belastbarkeit von Brücken abhängig vom Ansatzpunkt der einwirkenden Kraft, z. B. zur Ausgestaltung des okklusalen Profils, und zur Impulsabhängigkeit der verschiedenen Werkstoffe in diesem Zusammenhang erforderlich.

INTERESSENKONFLIKT UND DANKSAGUNG

Die Autoren dieser Studie danken der Firma VOCO GmbH für die finanzielle Unterstützung dieser Studie. Die Autoren erklären, dass gemäß den Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors kein weiterer Interessenkonflikt besteht.

LITERATUR

- Alt V, Hannig M, Wostmann B, Balkenhol M: Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater* 2011; 27: 339–347
- Barutcugil C, Bilgili D, Barutcigil K et al.: Discoloration and translucency changes of CAD-CAM materials after exposure to beverages. *J Prosthet Dent* 2019; 122: 325–331
- Basaran EG, Ayna E, Vallittu PK, Lassila LV: Load bearing capacity of fiber-reinforced and unreinforced composite resin CAD/CAM-fabricated fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent* 2013; 109: 88–94
- Böhner R: Moderne CAD/CAM Kompositmaterialien – deren Materialeigenschaften und Befestigungsstrategien. *ZMK-Aktuell* 2016; 32: 112–118
- Handel G: Wissenschaftliche Stellungnahme „Langzeitprovisorien“ – DGZMK. *DZZ* 2002; 57: 450
- Hensel F, Koenig A, Doerfler HM, Fuchs F et al.: CAD/CAM Resin-based composites for use in long-term temporary fixed dental prostheses. *Polymers (Basel)* 2021; 13: 3469
- Inomata M, Harada A, Kasahara S et al.: Potential complications of CAD/CAM-produced resin composite crowns on molars: a retrospective cohort study over four years. *PLoS One* 2022; 17: e0266358
- Jerg A, Spitznagel F: S3-Leitlinie Vollkeramische Kronen und Brücken. DGZMK: AWMF online – Das Portal der Wissenschaftlichen Medizin. 2021
- Kang YA, Lee HA, Chang J, Moon W et al.: Color stability of dental reinforced CAD/CAM hybrid composite blocks compared to regular blocks. *Materials (Basel)* 2020; 13: 4722
- Kern M: Der Natur auf der Spur – Hybridwerkstoffe bieten zahnärztliche Eigenschaften. *Digital Dental Magazin* 2018; 4: 52–61
- Keul C, Muller-Hahl M, Eichberger M et al.: Impact of different adhesives on work of adhesion between CAD/CAM polymers and resin composite cements. *J Dent* 2014; 42: 1105–1114
- Koenig A, Schmidtke J, Schmohl L et al.: Characterisation of the filler fraction in CAD/CAM resin-based composites. *Materials* 2021; 14: 1986
- Lim BS, Ferracane JL, Condon JR, Adey JD: Effect of filler fraction and filler surface treatment on wear of microfilled composites. *Dent Mater* 2002; 18: 1–11
- Mangoush E, Garoushi S, Vallittu P, Lassila L: Load-bearing capacity and wear characteristics of short fiber-reinforced composite and glass ceramic fixed partial dentures. *Eur J Oral Sci* 2023; 131: e12951
- Marchesi G, Camurri Piloni A, Nicolin V et al.: Chairside CAD/CAM materials: current trends of clinical uses. *Biology (Basel)* 2021; 10: 1110
- Pahnke E, Hahnel S, Lüdtke R, Rauch A: Einzelzahnkronen aus CAD/CAM Kompositen. *Dentalzeitung* 2021; 6: 016–021
- Rauch A, Elger W, König A: Indirect resin composites – a new material option when restoring malformed teeth. *Swiss Dent J* 2020; 130: 1005–1010
- Rauch A, Gold D: CAD/CAM-Komposite – Möglichkeiten der Charakterisierung anhand eines Fallbeispiels. *Quintessenz Zahntechnik* 2018; 44: 1470–1479
- Rosentritt M, Raab P, Hahnel S et al.: In-vitro performance of CAD/CAM-fabricated implant-supported temporary crowns. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 2581–2587
- Rues S, Huber G, Rammelsberg P, Stober T: Effect of impact velocity and specimen stiffness on contact forces in a weight-controlled chewing simulator. *Dent Mater* 2011; 27: 1267–1272
- Rues S, Lenz J, Türp JC et al.: Muscle and joint forces under variable equilibrium states of the mandible. *Clin Oral Investig* 2011; 15: 737–747
- Ruse ND, Sadoun MJ: Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res* 2014; 93: 1232–1234
- Sarafidou K, Stiesch M, Dittmer MP et al.: Load-bearing capacity of implant-supported, tooth-supported, and combined zirconia-fixed dental prostheses. *Implant Dent* 2011; 20: 311–317
- Sarafidou K, Stiesch M, Dittmer MP et al.: Load-bearing capacity of artificially aged zirconia fixed dental prostheses with heterogeneous abutment supports. *Clin Oral Investig* 2012; 16: 961–968
- Shembish FA, Tong H, Kaizer M et al.: Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dent Mater* 2016; 32: 499–509
- Soriano-Valero S, Roman-Rodriguez JL, Agustin-Panadero R et al.: Systematic review of chewing simulators: reality and reproducibility of in vitro studies. *J Clin Exp Dent* 2020; 12: e1189–e1195
- Stawarczyk B, Sailer I, Ender A et al.: Quo vadis Provi? Provisorien: CAD/CAM- oder konventionell gefertigt – eine Standortbestimmung. *Dental Dialogue* 2009; 10: 30–49
- Unlu N, Belli S: Three-year clinical evaluation of fiber-reinforced composite fixed partial dentures using prefabricated pontics. *J Adhes Dent* 2006; 8: 183–188
- van Heumen CC, Tanner J, van Dijken JW et al.: Five-year survival of 3-unit fiber-reinforced composite fixed partial dentures in the posterior area. *Dent Mater* 2010; 26: 954–960
- Winter A, Schurig A, Rasche E et al.: The flexural strength of CAD/CAM polymer crowns and the effect of artificial ageing on the fracture resistance of CAD/CAM polymer and ceramic single crowns. *J Mater Sci Mater Med* 2019; 31: 9
- Yamaguchi S, Kani R, Kawakami K et al.: Fatigue behavior and crack initiation of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dent Mater* 2018; 34: 1578–1584

Load bearing capacity of CAD/CAM fabricated 3-unit posterior composite FPDs in vitro

Keywords: CAD-CAM materials, CAD/CAM technology, digital dentistry, nanohybrid composites, posterior FPDs

Introduction: CAD/CAM nanohybrid composites are an established material for long-term temporaries for preprosthetic restorations due to their good stability and the possibility of additive and subtractive shaping at low material and processing costs. Whether nanohybrid composites also are an alternative to ceramics for permanent restorations in the posterior region still needs to be clarified. Therefore, the aim of this study was to investigate the load-bearing capacity of posterior bridges made of a nanohybrid composite (Grandio disc, VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany) in comparison with bridges of the same shape made of lithium disilicate ceramic (IPS e.max CAD, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) after artificial aging using chewing simulation and thermocycling. **Material/methods:** Eight posterior bridges were fabricated from Grandio disc and IPS e.max CAD using CAD/CAM technique. The bridges were cemented onto printed stumps using the adhesive technique (Ceramic Bond/Bifix QM, VOCO GmbH). To simulate the periodontium, a thin layer of latex was applied to the root equivalents of the printed stumps. The samples prepared in this way were embedded in polyurethane with the root parts. Artificial aging was carried out using 750,000 load cycles (50 N) in the chewing simulator with parallel thermal cycling (9,000 cycles, 5 °C to 55 °C). Load bearing capacity was tested until failure of the specimen. **Results:** In the nanohybrid composite group, a load drop was observed even before total failure at a force of 642.4 ± 115.9 N, which did not lead to total failure and was interpreted as initial plastic deformation. The composite bridges showed total failure at a force of $755.7 \text{ N} \pm 106.1$ N, whereas the ceramic bridges fabricated from IPS e.max CAD showed total failure at a significantly lower force of $573.5 \text{ N} \pm 57.3$ N ($p = 0.010$). **Conclusion:** With regard to the parameters determined in this study, the nanohybrid composite seems to be a promising material for medium and long-term intraoral use in definitive posterior bridges.



Tina Willmen

Dr. Tina Willmen (korrespondierende Autorin) Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Steve Plehn Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Prof. Dr. Meike Stiesch Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Prof. Dr. Michael Eisenburger Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Priv.-Doz. Dr. Philipp-C. Pott (korrespondierender Autor) Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Kontakt: Dr. Tina Willmen, Priv.-Doz. Dr. Philipp-C. Pott, Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomedizinische Werkstoffkunde, Medizinische Hochschule Hannover, Carl-Neuberg-Straße 1, 30625 Hannover, E-Mail: Pott.Philipp-Cornelius@mh-hannover.de

Abb. 1–5: T. Willmen, P.-C. Pott
Porträtfoto: T. Willmen