

**Autor**  
Wissenschaftler  
**Status**  
Fundamental  
**Kategorie**  
Grundlagen

# CAD/CAM-Technologie forciert den Einsatz von Zirkondioxid in der restaurativen Zahnheilkunde

Prof. Dr. Jef M. van der Zel

Dieser Artikel verdeutlicht, dass CAD/CAM-Verfahren die Anwendung von Zirkondioxid in der Zahnheilkunde ermöglicht haben, und dass heute wiederum die Weiterentwicklung der CAD/CAM-Technologie durch den vermehrten Einsatz von Zirkondioxid angetrieben wird. Resultat ist, dass metallfreie, keramische Restaurationen für einen breiten Indikationsbereich zur Verfügung stehen.

Auf die erste 1980 eingeführte aluminiumoxid-verstärkte Jacketkrone folgte eine schnelle Einführung unterschiedlicher vollkeramischer Materialien. Ihre geringe Festigkeit hatte bei vielen Praktikern ein hohes Maß an Skepsis zur Folge. Dabei wird außer Acht gelassen, dass adhäsiv befestigte Inlays, Veneers und Zirkondioxid-Restaurationen Überlebensprognosen aufweisen, die vergleichbar sind mit denen metallkeramischer Versorgungen. Die Grundlage für einen verantwortlichen Einsatz keramischer Materialien kann nur aus erfolgreich abgeschlossenen klinischen Langzeitstudien mehrerer Arbeitsgruppen bestehen, oder aber aus Analysen, die auf reproduzierbaren und standardisierten in-vitro-Studien basieren. Erst dann ist eine ‚evidence based‘ Anwendung in der zahnärztliche Versorgung gegeben.

## Metall und Keramik

Keramik wird, in Kombination mit Metall<sup>[1,2]</sup> oder völlig selbsttragend (Abb. 1), in verschiedenen Modalitäten in der restaurativen Zahnheilkunde als Ersatz für verloren gegangenes Zahngewebe angewandt. Neben kosmetischen Aspekten sind auch biologische und physische Argumente von steigender Relevanz bei der Entscheidung für Keramik. Kosmetische Aspekte spielen meist im sichtbaren Frontzahnbereich eine Rolle, wo Lichtdurchlässigkeit und Farbe aus-



Abb. 1: 4-gliedrige verblendete Zirkondioxid-Brücke (Excent).

schlaggebende Faktoren sind. Die oft mit Metall verbundenen Empfindlichkeiten treten bei Keramik nicht auf. Da Keramik keinerlei chemische Reaktionen mit Mundflüssigkeiten eingeht, weder Strom- noch Wärmeleitfähigkeit aufweist, ist sie chemisch und biologisch betrachtet das restaurative Material, welches am stärksten stabilem natürlichem Zahngewebe ähnelt. Jahrelang ließen Bedenken in Bezug auf die Festigkeit – oder besser: die Sprödigkeit – von Keramik kein Vertrauen in ihre klinische Langlebigkeit aufkommen. Diese Zweifel wurden durch klinisch enttäuschend hohe Frakturraten bestärkt, die zwar auch durch Verarbeitungsfehler verursacht wurden, für die Keramik besonders anfällig ist, aber auch durch eine zu niedrige Langzeitfestigkeit. Somit war der Weg zu metallfreien, vollkeramischen Restaurationen von Höhen und Tiefen gekennzeichnet.

Die computergestützte Zahnheilkunde hat die Bearbeitung einer neuen Generation von Dentalkeramiken mit einer bisher noch nicht gekannten Festigkeit und Haltbarkeit ermöglicht. Hierbei handelt es sich um ein Material, welches das Ergebnis einer jahrzehntelangen Entwicklung in der nano-keramischen Technologie ist. Dieses sogenannte Zirkondioxid erlangt seine Festigkeit durch eine Transformationsverfestigung, die auch aus der Härtung von Stahl be-

kannt ist. Dadurch wird die Möglichkeit einer völlig metallfreien restaurativen und prothetischen Zahnheilkunde eröffnet. In der Arbeitsgruppe Computergestützte Zahnheilkunde innerhalb der Abteilung Zahnheilkundliche Materialien des Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA) wird schon seit Jahren die Interaktion von CAD/CAM-Technologie und neuen Materialien untersucht.

## Keramikmaterialien

Keramische Materialien haben einen hohen Qualitätsstandard erreicht und sind zu einem festem Bestandteil in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde geworden. Neben ihrer ausgezeichneten Biokompatibilität bieten vollkeramische Restaurationen eine Vielzahl ästhetischer Gestaltungsmöglichkeiten. Die klinischen Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass ein klinisch erfolgreicher Einsatz eine differenzierte Herangehensweise in der Anwendung der Keramiken verlangt. Bei einem indikationsgerechten Einsatz stellen sie in mehrerlei Hinsicht eine Verbesserung gegenüber traditionellen Techniken dar.

Die Anforderungen an schöne Zähne werden weiterhin zunehmen. Momentan werden Kronen und Brücken meist aus Metall gefertigt und mit einer Keramik verblendet, aber die Nachfrage nach vollkeramischen Versorgung wird weiter steigen. Dies ist der Grund dafür, dass verstärkt Druck auf die Industrie und Wissenschaft ausgeübt wird, vollkeramische Systeme zu entwickeln. Bei der Einführung vollkeramischer Restaurationen spielt die computergestützte Zahnheilkunde, wie etwa bei Gerüsten aus Sinterkeramik, eine Schlüsselrolle.

Die heutigen Keramiksyste für metallfreie Restaurationen können nach abnehmendem Glasgehalt bei einem entsprechenden Anstieg der Festigkeitswerte klassifiziert werden: Verblendkeramik, Glaskeramik, Infiltrationskeramik und Sinterkeramik.

■ Silikatkeramik weist eine Biegefestigkeit zwischen 50 und 200 MPa und eine Bruchzähigkeit von weniger als 2,5 MPam<sup>0.5</sup> auf. Diese Keramik enthält in der Regel weniger als 20 % hochexpandierende Leu-

zitkristalle, um die Expansion an das zu verblendende Gerüst anzupassen oder um eine höhere Festigkeit zu erreichen. Silikatkeramik ist das Material der Wahl bei adhäsiv befestigten Restaurationen, also für Inlays, Teilkronen und Veneers und für die Verblendung keramischer oder metallischer Gerüste.

■ Presskeramik besitzt eine Biegefestigkeit zwischen 100 und 350 MPa und eine Bruchzähigkeit von weniger als 3,5 MPam<sup>0.5</sup>. Das Material enthält bis 60 % Kristalle (z. B. Lithiumsilikat Empress 2, Ivoclar Vivadent, Schaan). Die Kristallisation muss unter präzise definierten Bedingungen verlaufen, um eine unkontrollierte Bildung grobkörniger Kristalle zu vermeiden, die zu einer baldigen Fraktur im Mund führen kann. Industriell kristallisierte Blöcke (z. B. e.max, Ivoclar Vivadent, Schaan) sind deshalb zuverlässiger.

■ Glasinfiltrationskeramik weist eine Biegefestigkeit von 400 bis 500 MPa bei einer Bruchzähigkeit von 4 bis 4,5 MPam<sup>0.5</sup> auf. Obwohl aus Glasinfiltrationskeramik hergestellte Kronen gute klinische Resultate erreichen (0,5 % Frakturnrate pro Jahr), ist ihre Verwendung für Brücken im Molarenbereich immer mit einem Risiko verbunden. Für 3-gliedrige Brücken im Frontzahnbereich (Ästhetik) ist dieses Material eingeschränkt anzuwenden.

■ Sinterkeramik verfügt über eine Biegefestigkeit von 500 bis 1200 MPa bei einer Bruchzähigkeit von 5 bis 12 MPam<sup>0.5</sup>. Gerüste aus Zirkondioxid, die inzwischen größtenteils Gerüste aus Aluminiumoxid ersetzt haben, können nur mittels CAD/CAM-Technologie produziert werden. Zirkondioxid kann aufgrund seiner hohen Festigkeit und Bruchzähigkeit unter den gleichen Bedingungen, die für metallkeramische Restaurationen gelten, unbeschränkt eingesetzt werden.

Restaurationen, die nicht durch Sinterkeramik oder Metall unterstützt werden, müssen immer adhäsiv eingegliedert werden. Adhäsiv befestigte Restaurationen zeichnen sich durch eine ausgezeichnete Langzeitprognose aus.

Bei Brücken treten unter Belastung durch Kaukräfte Biegemomente auf, die Zugspannungen zur Folge haben. Die Gerüstkeramik muss deshalb eine

hohe Bruchzähigkeit aufweisen, um Rissbildung unter Dauerbelastung im Mund zu verhindern. Für diese Indikation ist somit Zirkondioxid angezeigt.

## Indikation

Der Einsatz von Silikat-, Press-, Infiltrations- und Sinterkeramik orientiert sich an den Indikationen, welche unterschiedlichen Kaubelastungen ausgesetzt sind. Frontzähne sind einer durchschnittlichen Belastung von 25 kg ausgesetzt, Prämolaren von 35 kg und Molaren bis zu 100 kg. Deshalb ist die Silikatkeramik mit ihrer opalisierenden, lichtdurchlässigen Ästhetik für die Versorgung von Frontzähnen bis zum Prämolare indiziert. Für den Prämolare- und Molarebereich ist die hochbelastbare Zirkonoxidkeramik zu verwenden. Bei großspannigen Restaurationen sind Silikatkeramiken kontraindiziert.

## Y-TZP Zirkondioxidkeramik

Aufgrund ihrer speziellen Materialeigenschaften wird Zirkondioxidkeramik, auch bekannt unter der Abkürzung Y-TZP (Yttrium-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal), schon seit 1969 in der Orthopädie für Hüftgelenk-Implantate eingesetzt. Frühere Versuche, die Anwendung auch in der Zahnheilkunde zu ermöglichen, wurden nicht unternommen, da dieses Material nicht mit den traditionellen, in der Zahnheilkunde bekannten Methoden, verarbeitet werden konnte. Durch den Einsatz der computergestützten Zahnheilkunde kann Zirkondioxid heute ökonomisch sinnvoll zu Kronen- und Brückengerüsten verarbeitet werden. Die Einführung dieses Materials in die restaurative und prothetische Zahnheilkunde wird voraussichtlich den uneingeschränkten Einsatz vollkeramischer Materialien ermöglichen. Unter den zur Verfügung stehenden Keramiken existiert mit Ausnahme von Zirkondioxid keine zuverlässige Keramik für den Indikationsbereich der Brücke, die bezüglich der Spanne nicht beschränkt wäre. Zirkondioxid scheint jedoch in Hinblick auf seine hohe Biegefestigkeit von über 900 MPa und der hohen Bruchzähigkeit diesen Trend zu beenden. Dass Zirkondioxid seit 1990 für industriell produzierte Wurzelstifte verwendet wird, bestätigt seine hohe Festigkeit. Diese und die hohe Bruchzähigkeit sind auf die materialspezifische Kris-

talltransformation (von einer tetragonalen in eine monokline Kristallstruktur) zurück zu führen, die die Bildung eines Risses im Keim erstickt<sup>[5]</sup>. Werden 3 Mol-Prozent (5 Gewichtsprozent) Yttriumoxid dem Zirkondioxid hinzugefügt, entsteht eine sehr feinkörnige nanokristalline Struktur, die die schnelle Rekristallisation ermöglicht. Die bei dieser schnellen Transformation auftretende Volumenzunahme bremst die Rissbildung bzw. -fortpflanzung und erhöht damit die Festigkeit zu einer höheren Ordnung<sup>[10]</sup>.

Über die Transformationsverfestigung von Zirkonoxid wurde erstmals in der Veröffentlichung „Ceramic Steel?“ von Garvie, Hannink und Pascoe<sup>[2]</sup> berichtet. Dieser Titel wurde bewusst mit dem Ziel gewählt, um die gemeinsamen Eigenschaften der ZrO<sub>2</sub>-basierten „Legierungen“ mit metallischen Legierungen zu verdeutlichen. Garvie u. a. verglichen Zirkondioxid mit gehärtetem Stahl. Die Übereinstimmung der Materialeigenschaften ist allerdings verblüffend: Beide Materialien weisen vergleichbare Werte für Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul, thermischen Expansionskoeffizient und spezifisches Gewicht auf. Was den Vergleich noch bemerkenswerter macht, ist die Tatsache, dass beide Materialien ihre Festigkeit derselben martensitischen Kristallumwandlung mit beinahe derselben Volumenzunahme zu verdanken haben.

## CAD/CAM-Systemanforderungen

Circa 20 Systeme für die CAD/CAM-Fertigung von individualisierten Zahnersatz-Halbfabrikaten stehen heutzutage der Zahnheilkunde zur Verfügung. Obwohl viele Ähnlichkeiten vorhanden sind, werden sowohl technisch als logistisch unterschiedliche Strategien verfolgt. Letztendlich muss aber die Finanzierbarkeit und klinische Langlebigkeit dieser Versorgungen gegeben sein. Die neue CAD/CAM-Technologie muss einige Basis-Anforderungen erfüllen, um auch in der Zukunft einen bleibenden Beitrag liefern zu können. Die Mindestanforderung, die an CAD-Software gestellt werden muss, ist eine automatische Erkennung der Präparationsgrenze ohne Eingriff des Anwenders (Abb. 2). Dies sollte aber nicht die Möglichkeit ausschließen, eine „längere“ oder „kürzere“ Extraktion zu wählen, mit oder ohne „Überlappung“.

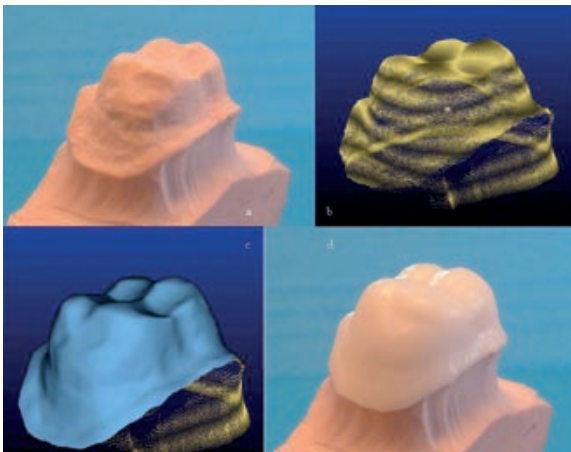


Abb. 2: Automatische Erkennung der Präparationsgrenze (Oratio): a) Gipsstumpf, b) Punktwolke, c) Rekonstruktion, d) Kappe.

Die einfachste Variante – das Generieren einer Gerüststruktur – scheint bei jedem System gut ausgereift zu sein. Eine wichtige Verbesserung besteht darin, dass eine Kappe oder ein Zwischenglied automatisch eine verkleinerte anatomische Form annimmt, wobei der okklusale Raum einkalkuliert wird, so dass mit einer gleichmäßig starken Verblendkeramikschiicht gerechnet werden kann. Hierbei ist ein schneller kompletter Scan eines Bissregistrates in der Entwurfsphase notwendig (Abb. 3). Um genügend Festigkeit einer Brücken-Konstruktion gewährleisten zu können, ist es vorteilhaft, wenn der minimale Querschnitt der Konnektoren automatisch berechnet wird, abhängig von der Lage im Mund und der Größe der Brücke.

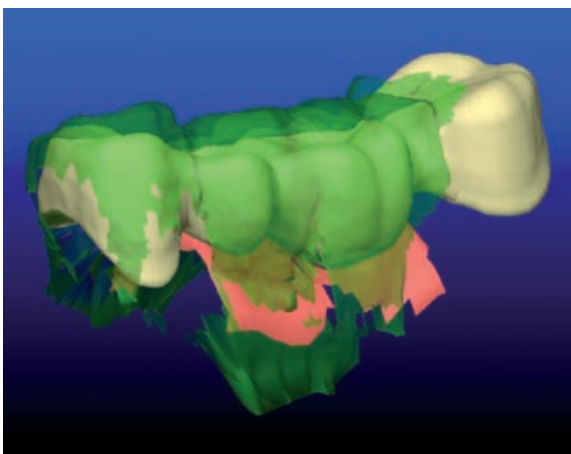


Abb. 3: Der okklusale Raum muss bei dem Entwurf der Kronenkappen und der Zwischenglieder (Cyrtina) mit einbezogen werden.

Die Wahl einer „engen“ oder „lockeren“ Passung durch Modifizierung des virtuellen Zementspalts hängt vom individuellen Urteil des Anwenders sowie dem angewandten Zement ab.

Extraorale, optische Scanner sind für einen akzeptablen Preis verfügbar (Abb. 4). Sie scannen die



Abb. 4: Optische Scanner mit hoher Genauigkeit und zu einem angemessenen Preis sind am Markt verfügbar.

Präparation von verschiedenen Seiten, kombinieren die Ansichten automatisch miteinander. Die Genauigkeit beträgt zwischen 7 und 25  $\mu\text{m}$  und ist in Kombination mit einer intelligenten Software gut einzuhalten<sup>[3, 4]</sup>. Restaurationen müssen letztendlich mit einer Passgenauigkeit von 50 bis 80  $\mu\text{m}$  produziert werden, um ohne Nacharbeit weiter verarbeitet werden zu können. Voraussetzung hierfür ist ein genauer Scan-Vorgang. Gerade durch die Berücksichtigung eines exakt berechneten, gleichmäßigen Zementspalts verfügen CAD/CAM-gefertigte Brücken an der Innenseite über mehr Raum als in Wachs modellierte und gegossene Brücken. Die Berechnung der Einschubrichtung fördert eine integrale Rekonstruktion aller, statt individueller, Pfeilerpräparationen, um eine perfekte Passung zu realisieren (Abb. 5).

Ein weiteres Scanner-Feature ist der komplette Scan unter sich gehender Bereiche, um eine exakte Bestimmung der Präparationslinien und die Erkennung der Äquator-Position zur Anpassung der Kontakte an die Nachbarzähne zu ermöglichen. Beim Einstellen der okklusalen und approximalen Formgebung spielt die Qualität der Antagonisten und Nachbarzähne eine wichtige Rolle. Um eine interferenz-

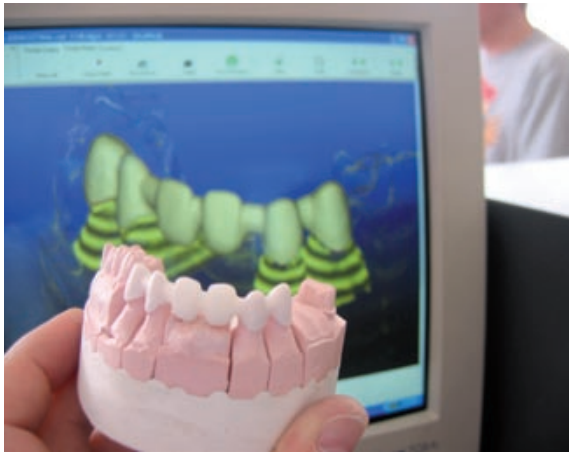


Abb. 5: Zirkondioxid-Brückenstruktur auf mehreren Pfeilern (Oratio).

freie Artikulation zu erzielen, kann eine risikoarme Disklusionsvariante gewählt werden<sup>[5]</sup>. Ein schneller Scan eines kompletten Bissregistrats ist auch hier unbedingt erforderlich. Anschließend können Zähne im Ober- und Unterkiefer in eine räumlich korrekte, funktionelle Relation zurück gebracht werden.

Nur wenn eine Kombination aller Faktoren zu einem vernünftigen Preis für die Restauration und entscheidenden Vorteile gegenüber konventioneller Methoden führt, kann sich die CAD/CAM-Technologie durchsetzen. Allerdings ist es heute noch schwierig mit chairside (Einsatz in der Zahnarzt-Praxis) als auch laboratory-side (Einsatz im Dentallabor) CAD/CAM-Lösungen, den ökonomischen Anforderungen gerecht zu werden. Die Möglichkeit der zentralen Produktion ist deshalb in Anbetracht des heutigen Standes der Technik ökonomisch betrachtet die interessantere. Bei einer Produktion von bis 1.000 Einheiten pro Jahr stellt die Investition in ein dezentrales Scan-Design-System eine Möglichkeit für das Dentallabor dar, um die Scan- und Konstruktionsdaten per Internet zu einem zentralen Dienstleister zu senden und sich die individualisierten Halbfabrikate und andere Hilfsmittel, wie beispielsweise Bohrschablonen, gegen feste Preise einzukaufen.

Auf diese Weise wird sich das Dentallabor immer stärker zu einem Service-Center für Zahnärzte und Patienten entwickeln. Eine ähnliche Entwicklung hat sich in den letzten Jahren in den Berufszweigen der Optiker und Hörgeräteakustiker vollzogen.

## Ästhetik

Weil bei Restaurationen aus Zirkondioxid die weiße Basisfarbe des Materials durchschimmert – insbesondere bei geringem Platz für die Verblendkeramik – ist unterschiedlich eingefärbtes Zirkondioxid für verschiedene Keramik-Farbgruppen verfügbar<sup>[8]</sup> (Abb. 6). Ein wichtiger Grund für die große Belieb-



Abb. 6: Eingefärbtes Zirkondioxid für unterschiedliche Keramik-Farbgruppen (Oratio).

heit von Zirkondioxid unter Zahntechnikern sind die Ränder: Sie können messerscharf gestaltet werden, was bei Versorgungen aus Metall nicht möglich ist. Außerdem ist der Rand homogen, stabil, biokompatibel und bleibt auch nach dem Aufbrennen perfekt. Zudem zeigt Zirkondioxid eine hohe Transluzenz (Abb. 7), sodass verfärbte Elemente mit einem opaken Zement abgedeckt werden müssen.

Es werden immer mehr Vollkeramik-Restaurationen Metallkeramik-Versorgungen ersetzen – Schätzungen belaufen sich auf 10 bis 20 Prozent jährlich (adhäsiv befestigte Silikatkeramik und Zirkondioxid). Damit scheint sich das Ende eines jahrelang ins Stocken geratenen Prozesses



Abb. 7: Die Farbe des Gipsstumpfes scheint durch das transluzente Zirkondioxid (Oratio).



abzuzeichnen. Die Triebfedern der Steigerung der Nachfrage nach Vollkeramik liegen wohl in einem wachsenden Bewusstsein der Patienten für Ästhetik, aber auch in dem Wunsch nach erhöhter Sicherheit in Bezug auf die Biokompatibilität. Die Biokompatibilität der Keramik basiert auf der Tatsache, dass die Bestandteile sich bereits in ihrem höchsten Oxidationszustand befinden. Eine weitere Oxidation (Korrosion) im Mund, wie sie von Metallen bekannt ist, ist deshalb nicht zu erwarten. Darüberhinaus finden keine Wechselwirkungen mit dem umgebenden Gewebe statt. Patienten, die empfindlich auf bestimmte Metalle reagieren, kann in den meisten Fällen alternativ mit Vollkeramik geholfen werden. Daneben spielt die geringere mikrobielle Plaqueanfälligkeit von Zirkonoxid eine positive Rolle (Abb. 8).



Abb. 8: Zirkonoxid-Abutments akkumulieren weniger Plaque (Dyna Dental).

## Präparationsanforderungen

Scharfe Übergänge an der inzisalen und okklusalen Oberfläche sollten vermieden werden, um Spannungserhöhungen in der Restauration zu vermeiden. Bei einigen Systemen sorgt die CAD-Software für eine interne Abrundung der Innenseiten. Frontzähne sollten nicht zu spitz, sondern abgerundet präpariert werden. Auch diese Vorgabe kann mittels der Software virtuell gelöst werden. Eine ausreichende axiale Reduktion von insgesamt 0,8 bis 1,2 mm, abhängig von der Lage im Mund, und eine okklusale Reduktion von 1,2 bis 1,5 mm müssen eingehalten werden.

Einfache Präparationsformen sind nur mit dem hochfesten Zirkonoxid möglich. Um ein grafisches Feedback der Präparationsqualität zu realisieren,

wurde an der Universität Amsterdam (Academic Centre for Dentistry, ACTA) ein „PrepCheck“ entwickelt. Dabei werden zu steile Gebiete (Rot), die Konvergenz-Winkel zwischen 8° und 16° als Retentionsbereich (Orange), der Schulterbereich zwischen 90° und 135° (Dunkelgrün) und der Unterschnitt-Bereich (Dunkelblau) angegeben (Abb. 9).

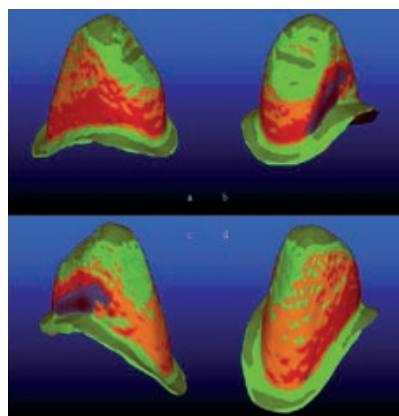


Abb. 9: PrepCheck-Analyse einer Präparation an Molar 26. a,b,c,d: Darstellung in 90°-Drehungen (ACTA).

## In-vitro-Studien

Um eventuelle qualitative Unterschiede zwischen Zirkondioxid-Kronenkappen aufzuzeigen, wurden mit verschiedenen kommerziellen Systemen fünf inzisale Kronenkappen produziert und mit Sakura Interaction (Elephant Dental B.V., Hoorn, Niederlande) verblendet. Die Kronen wurden mit Zinkphosphat-Zement auf einen Chrom-Kobalt Stumpf zementiert und unter vertikalem Druck bis zum Bruch belastet. Die Resultate zeigt die Tabelle 1. Obwohl Cyrtina ohne Liner den höchsten Wert aufweist, sind die Standardabweichungen zu hoch, um einen signifikanten Unterschied zwischen den Systemen zu beobachten. Untersuchungen der frakturierten Kronen weisen nach, dass die Verblendkeramik wegbricht, aber eine dünne Schicht auf dem Zirkondioxid hinterlässt.

Ein Querschnitt (Abb. 10) zeigt deutlich, dass der Bruch kohäsiv in der Keramik entlang des Übergangs Zirkondioxid-Keramik verläuft, und nicht quer durch die Grenzfläche. Eine Langzeitprognose zum Vergleich mit Metallkeramik-Brücken kann nur durch eine Kausimulation mit 1.200.000 Kauzyklen erzielt werden, die eine Tragezeit von fünf Jahren simuliert. Nach einer Fünfjahres-Simulation von Thermozyklen und mechanischer Belastung (TCMB) wurde die Rest-Bruchfestigkeit von 3-gliedrigen Brücken mit Zirkondioxid-Brücken bestimmt. Die Parameter der

CAD/CAM-System	Oberfläche vor dem Brennen	Bruchlast N	Standard-abweichung	Minimum-Wert	Maximum-Wert
Lava	Liner	4837	1765	3450	7565
Procera	Liner	5725	1128	4061	6559
DCS	Liner	5840	1649	4118	8078
Cercon	Liner	5598	1543	3589	7727
	Ohne Liner	5913	908	4530	6912
	15 Min 1000° C, Liner	4550	2567	2347	8853
Cyrtina	Mit Spray-Liner	5506	1058	4000	6816
	Mit Liner	5306	1114	3616	6403
	Ohne Liner	7274	763	6519	8500

Tabelle 1: Vergleich kommerziell produzierter Inzisalkappen (N = 5), verblendet mit Sakura Interaction Keramik (Elephant Dental B.V., Hoorn, Niederlande).

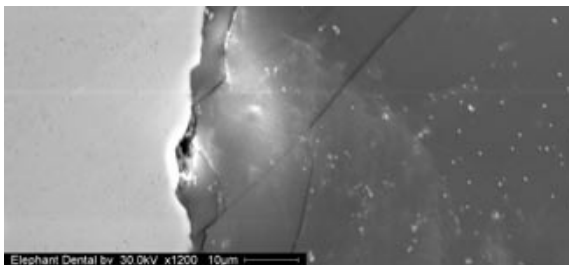


Abb. 10: Der Bruch verläuft nicht quer durch die Grenzfläche sondern entlang des Übergangs Zirkondioxid-Keramik (Elephant).

thermischen und mechanischen Belastungsprozedur entsprachen denen aus der Literatur bekannten. Eine Belastung von 50N ist durch Eichner<sup>[6]</sup> und Krejci<sup>[7]</sup> als repräsentativ für eine durchschnittliche Kaukraft beschrieben. Die Biegefestigkeit lag mit  $1.512 \pm 344N$  (N = 8) kaum niedriger als der Wert vor der Kausimulation von 1.600N (Abb. 11).



Abb. 11: Brücke nach Kausimulation und Bestimmung der Rest-Festigkeit (Uni Regensburg).

### Klinische Erfahrungen

Brücken aus leuzitverstärkter Presskeramik können wie 3-gliedrige Brücken aus Glasinfiltrationskera-

mik im Frontzahn- und Prämolaren-Bereich eingegliedert werden. Hierüber liegen ausreichend klinische Daten vor<sup>[9]</sup>. Für Kronen aus Silikatkeramik wurde nach vier Jahren eine Überlebensrate von 98 Prozent nachgewiesen. Kronen aus Glasinfiltrationskeramik zeigten nach sechs Jahren keine nennenswerte Fraktur. Vergleichbare positive klinische Resultate wurden mit vollkeramischen Kronen aus Aluminiumoxid erreicht<sup>[11]</sup>.

Zu mit CAD/CAM-produzierten Zirkondioxid-Brücken (Cercon, DCS, Lava, Procera, KAVO, Cerec, Hintels, Ce.novation, Cyrtina, Decim, Zeno, et. al.) liegen bislang nur klinische Resultate über einen kürzeren Zeitraum vor. Die Untersuchung mit der längsten Laufzeit stammt aus dem Jahre 1998, wobei bis jetzt noch keine Fraktur aufgetreten ist. Die erste klinische Untersuchung zu verblendeten Zirkondioxid-Brückengerüsten, auch mit mehr als drei Brückengliedern, hat über mehr als vier Jahre keine Brüche gezeigt.

### Fazit

Adhäsiv befestigte Silikatkeramik-Restorationen haben in der heutigen kosmetischen Zahnheilkunde eine wichtige Rolle gespielt, nicht zuletzt durch ihre ausgezeichnete Langlebigkeit. War Ästhetik bis vor kurzem die wichtigste Triebfeder für die Entwicklung von Keramiken, spielt heutzutage die Gewebefreundlichkeit von metallfreier Keramik eine zunehmend wichtigere Rolle. Vox populi hat sich für Biokompatibilität ausgesprochen. Durch die CAD/CAM-Technologie können die Vorteile der neuen Hightech-Zir-

kondioxidkeramik auch in der Zahnheilkunde genutzt werden. Weil sich das Material ohne Einschränkung auch posterior einsetzen lässt und außerdem über eine hohe Biokompatibilität verfügt, öffnet es einen neuen Horizont für metallfreie Keramik-Restaurationen.

Das Paradigma, welches besagt, dass bei Keramik-Restaurationen anders präpariert und modelliert werden muss als bei Versorgungen aus Metallkeramik, wurde durch den Werkstoff Zirkondioxid außer Kraft gesetzt. Die Einführung der neuen Zirkondioxid-Keramiken in der Zahnheilkunde ist sehr wahrscheinlich der entscheidende Schritt in Richtung des Einsatzes metallfreier Vollkeramik-Restaurationen ohne Einschränkungen. Die computergestützte Zahnheilkunde ist somit nicht nur für eine Revolution auf dem Gebiet der Implantologie (Abb. 12) und der klinischen Entscheidungsunterstützung verantwortlich, sondern die CAD/CAM-Technologie spielt auch eine Schlüsselrolle bei der Einführung neuer Materialien. ■

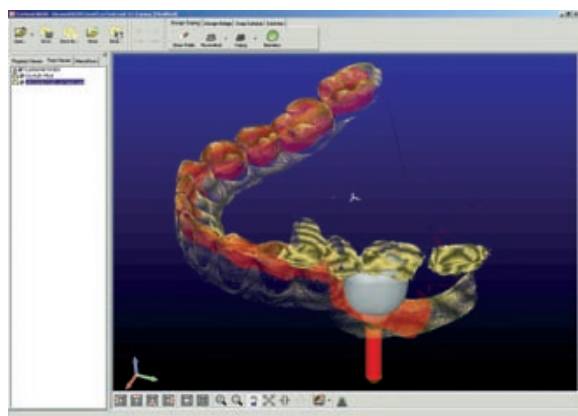


Abb. 12: Implantat mit Krone im okklusalen Kontakt (Oratio).

## Literatur

[1] **M. de Kler, M. Meegdes, J. M. van der Zel:** Effect of thermal expansion mismatch and fatigue loading on phase changes in porcelain veneered 3Y/TZP zirconia ceramic. *J Oral Rehab.* (accepted for publication).

[2] **R.C. Garvie, H. R. Hannik, R. T. Pascoe:** Ceramic Steel?, *Nature*, 1975; 285,12: 703-704.

[3] **J. M. van der Zel:** Scanner – Wo liegen die Grenze? Team Work, *Journal of Multidisciplinary Collaboration in Prosthodontics*, 6, 4/03, 365 (2003).

[4] **S. T. Vlaar, J. M. van der Zel:** Accuracy of dental digitizers, *Int Dent J.* 2006 Oct;56(5):301-309.

[5] **J. M. van der Zel:** Maximum functional occlusion in molars with a computer integrated Scan/CAD/CAM-system, in: *Imaging Techniques in Biomaterials*, Elsevier:361-383 (1994).

[6] **K. Eichner:** Messung der Kräfte bei Kauvorgängen *Dtsch Zahnärztl Z*, 1963; 18:915-924.

[7] **I. Krejci, T. Reich, F. Lutz, M. Albertson:** In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssystemen. *Schweizer Monatsschrift Zahnmedizin*, 1990; 100:8-14.

[8] **M. Rosentritt, A. Leibrock, R. Lang, P. Scharnagl, M. Behr, G. Handel:** Regensburger Kausimulator. *Material Prüfung* 39:77-80, 1997.

[9] **Reiss/Walther:** *Int. Journal Computerized Dentistry*, 2000, 3: 9-23.

[10] **A. Scarano, M. Piattelli, S. Caputi, G. A. Favero, A. Piattelli:** *J Periodontol* February 2004; Vol. 75, No.2, 276-280.

[11] **Odman en Andersson 2001:** Procera AllCeram crowns followed for 5 to 10.5 years: A prospective clinical study. *Rivista Internazionale di Odontoiatria Protesica*. 2001;14:504-9.

**Prof. Dr.  
Jef M. van der Zel**  
Amsterdam, Niederlande



■ Promotion an der Universität Amsterdam ■ von 1977 bis 2006 technischer Direktor und Scientific Offizier bei Elephant Dental B.V.  
■ Entwickler des CAD/CAM-Systems CICE-RO von Elephant Dental B.V. ■ Professor am weltweit ersten Lehrstuhl für computerunterstützte Zahnheilkunde, Academic Center of Dentistry, Amsterdam ■ seit 1995 Vorstandsvorsitzender der Oratio B.V, Zwaag, Niederlande ■ Vorsitzender der „Special Interest Group CAD-CAM“ der International Association of Dental Research (IADR)  
**Kontakt: j.vd.zel@acta.nl**  
**http://home.planet.nl/~jmvanderzel**