

# Ursachen für Keramikfrakturen

Vollkeramische Versorgungen erzielen mittlerweile einen stetig zunehmenden Marktanteil gegenüber der konventionellen Metallkeramik. Gerade die Diskussion um Biokompatibilität sowie die gestiegenen Ansprüche der Patienten für ästhetische Alternativen trieb die Entwicklung von hochfesten, vollkeramischen Gerüstmaterialien auf Zirkonoxidbasis ( $ZrO_2$ ) voran. Entsprechend standardisierte Fertigungsmethoden mittels CAD/CAM-Technologie gingen mit der eigentlichen Materialoptimierung einher. Das hochfeste Zirkonoxid bietet große mechanische Sicherheitsreserven mit weitem Indikationspotenzial und steht als Alternative zur Metallkeramik besonders im Fokus von Wissenschaft und Praxis. Es besitzt allerdings werkstoffspezifische Eigenheiten und bedarf einer abgestimmten Verarbeitung in Labor und Praxis, um die hohen Erwartungen und damit den klinischen Erfolg über Jahre zu gewährleisten.

Priv.-Doz. Dr. Ulrich Lohbauer/Erlangen, Priv.-Doz. Dr. Sven Reich/Aachen

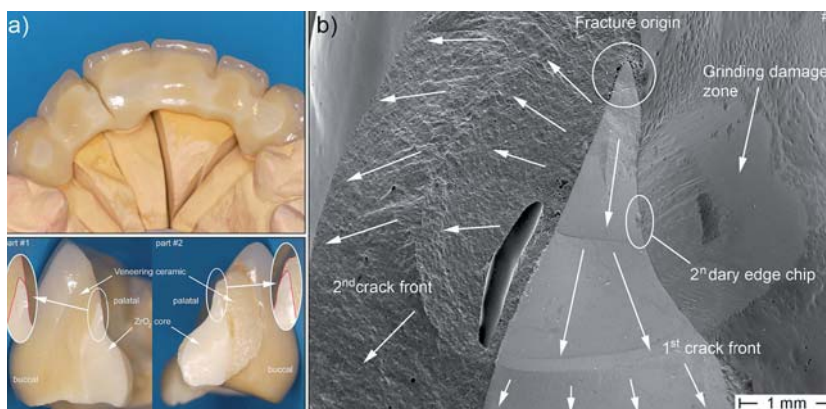
■ **Misserfolge** hinsichtlich Keramikfrakturen oder Chippings in der Verblendung können mithilfe der Methode der klinischen Fraktografie analysiert und Ursachen für das individuelle Versagen benannt werden. Die Erkenntnisse daraus tragen wiederum zum Verständnis der Zirkonoxid-eigenen Materialcharakteristik bei. Dieser Artikel soll die Methode der klinischen Fraktografie erläutern

und Empfehlungen zur keramikgerechten Verarbeitung aussprechen.

Metallkeramischer Zahnersatz stellt bei Betrachtung des Langzeiterfolges bis dato das Mittel der Wahl dar. So wird bei bewährten Systemen die jährliche Rate an Verblendfrakturen zwischen 0 und 4% nach zwei bis sieben Jahren beziffert. Vergleichbare Langzeitdaten sind für vollkeramische Restaurationen

ebenfalls erhältlich, für zirkonoxidgetragenen Zahnersatz jedoch liegt die klinische Erfahrung erst bei maximal fünf Jahren. So werden in vergleichenden Studien an 3- bis 5-gliedrigen Seitenzahnbrücken über drei Jahre ähnliche Verlustraten wie bei Verwendung von Metallkeramik beobachtet. Es wird aber über gehäuftes Auftreten von Chippingfrakturen in der Verblendung und eine noch immer defizitäre Passgenauigkeit beschrieben. Voraussetzung für den Erfolg von vollkeramischen Restaurationen ist die strikte Einhaltung von Präparations- und Verarbeitungsrichtlinien, die zum Teil erheblich vom gewohnten Umgang mit Metallkeramik abweichen. Es werden z. B. bei optimaler Fertigung, Randgestaltung und Einhaltung der Verbinderdimensionen keine Frakturen der  $ZrO_2$ -Gerüste verzeichnet. Abbildung 1 verdeutlicht einen unsachgemäßen Umgang mit Zirkonoxid, der zur Gerüstfraktur führte.

Laborversuche zur Kantenfestigkeit von verblendeten Zirkonoxidgerüsten zeigen überdies, dass Chipping in der Verblendung das Problem darstellt und weniger die Delamination vom tragenden Gerüst.



▲ **Abb. 1:** Frakturierte Zirkonoxid-Frontzahnbrücke mit Erhalt der beiden Bruchfragmente nach Entnahme aus der Mundhöhle (a). Die fraktografische Analyse zeigt die Ausprägung von typischen Linienmustern und Haltelinien, die auf den Bruchursprung zurückverweisen (b). Des Weiteren sind verarbeitungstechnische Fehler erkennbar (Blase in der Verblendung, nachträgliche Zirkonoxidbearbeitung). Besonders die nachträgliche Reduktion der Gerüstdimension ist hier als Bruchursache zu nennen.

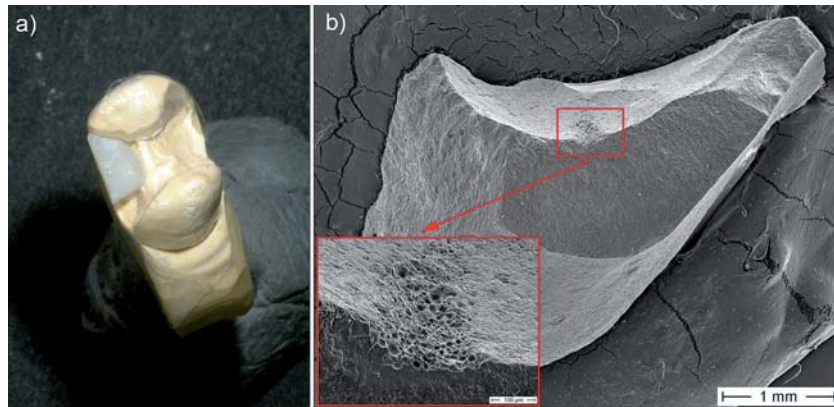
### Besonderheiten im Umgang mit Zirkonoxid

Zirkonoxid zeichnet sich neben den Punkten Ästhetik und Biokompatibilität für die prothetische Zahnheilkunde besonders durch seine extrem hohe Biegefestigkeit ( $> 1.000 \text{ MPa}$ ) und seine für eine spröde Keramik hohe Bruchzähigkeit ( $\sim 10 \text{ MPam}^{0.5}$ ) aus. Die Neigung zu geringer Plaqueanlagerung, die geringe Temperaturleitfähigkeit und die niedrigen Materialkosten tragen überdies zum Erfolg von Zirkonoxid bei.

Das Prinzip der hohen Bruchzähigkeit von polykristallinem  $\text{ZrO}_2$  beruht auf einer martensitischen Phasenumwandlung der Einzelkristallite unter Einwirkung von mechanischer Belastung (Yttrium stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal, sog. Y-TZP). Diese Phasenumwandlung wird durch Oberflächenschädigung (Schleifen, Abstrahlen) oder durch Rissausbreitung unter kritischer Belastung hervorgerufen und ist mit einer Volumenausdehnung von 2–3% verbunden. Während im ersten Fall die Umwandlung unerwünscht ist (führt zu einer Reduzierung der mechanischen Eigenschaften um bis zu 20%), dient die Ausdehnung der Kristallite bei Phasenumwandlung zur Vermeidung weiteren Risswachstums und zur Gewährleistung der hohen Bruchzähigkeit. Mit richtig verarbeitetem Zirkonoxid können deshalb auch geringere Wandstärken und filigranere Verbinderquerschnitte realisiert werden.

Zirkonoxid besitzt einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) von ca. 9–10 ppm. Damit unterscheidet es sich deutlich von den gewohnten Edelmetallen mit einem WAK von ca. 13–15 ppm und bedarf der Wahl von eigens auf Zirkonoxid abgestimmten Verblendmaterialien. Diese Eigenschaft macht sich gerade beim Abkühlen nach der Verblendung bemerkbar und kann hohe innere Spannungen bis hin zur Rissbildung verursachen, falls der WAK der Verblendmasse nicht auf das Gerüstmaterial abgestimmt ist.

Zirkonoxid besitzt weiterhin im Vergleich zu Metallen, Aluminiumoxid oder auch zu Verblendmassen eine deutlich schlechtere Wärmeleitfähigkeit. Dadurch kann es beim Abkühlen vom Sinterbrand bis unterhalb der Transformationstemperatur (z.B.  $600^\circ\text{C}$ ) der Verblendkeramik zu ungleicher Wärmeableitung und damit

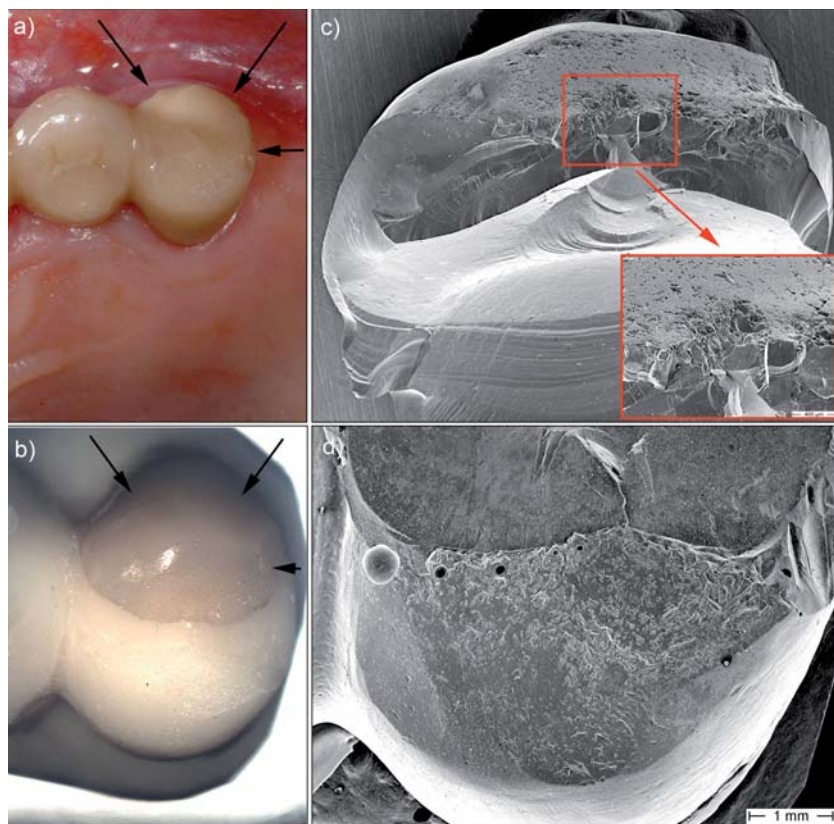


▲ **Abb. 2:** Distales Bruchstück eines frakturierten MOD-Inlay am Zahn 1.4 (a). Im Rasterelektronenmikroskop sieht man gehäufte Porenbildung (Sinterfehler) an der Bruchkante zum Inlay (b), die als Bruchursache benannt werden kann.

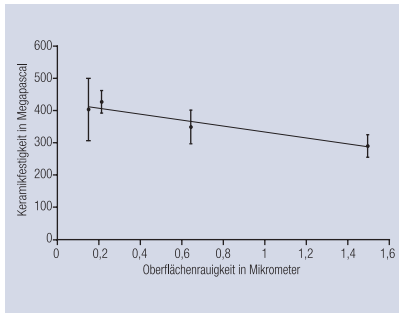
ebenfalls zu Spannungen in der Verblendkeramik kommen. Insbesondere bei massiven Restaurationen kann man diesen thermischen Spannungen durch ein langsames Abkühlen im letzten Brennvorgang entgegenwirken. Der Aufbau von inneren Spannungen in der Verblendung sollte grundsätzlich vermieden werden, da diese das Eintreten von Chippingfrakturen forcieren.

### Methode der klinischen Fraktografie

Keramische Materialien eignen sich aufgrund ihrer ausgeprägten Sprödigkeit besonders gut für die fraktografische Analyse. Dabei findet man auf den Bruchflächen charakteristische Merkmale, die Rückschlüsse auf den eigentlichen Bruchvorgang zulassen. Im Allgemeinen üben



▲ **Abb. 3:** Klinische Dokumentation einer Zirkonoxid getragenen Vollkeramikkrone (a) am Zahn 2.5 mit Darstellung des Bruchfragments auf einem Replika (b) und fraktografische Analyse des Fragments unter dem Rasterelektronenmikroskop (c) bzw. des Replikas der im Mund verbliebenen Restkrone (d). Deutlich zu sehen ist die fortgeschrittene Abrasion auf der Okklusalfäche nach zwei Jahren Tragedauer, die dann auch zum Ermüdungsbruch der Krone führte.



▲ **Abb. 4:** Abhängigkeit der Keramikfestigkeit von der Oberflächenqualität. Die hier gezeigten, experimentell ermittelten Werte zeigen das Verhalten der Glaskeramik Empress II.

intraorale Kaukräfte Zugbelastungen auf die Keramikoberfläche aus, die mit der Öffnung und Verlängerung von mikroskopischen Oberflächenfehlern bis hin zum Bruch reagiert. Die Methode der klinischen Fraktografie erlaubt es den Bruchvorgang zu rekonstruieren, den Ursprung des bruchauslösenden Fehlers zu bestimmen oder die Höhe der dazu notwendigen Spannung abzuschätzen.

Charakteristische Elemente der Analyse sind die „Fußabdrücke“ auf den Bruchflächen, die sich radial vom Ursprung ausbreiten. Der Bruch kann dabei durch lokale Spannungskonzentration (z.B. „Kirscherneffekt“, Trauma) oder durch Fehlstellen im Material selbst (z.B. Verunreinigung, Pore, Riss) verursacht werden (Abb. 2). Ein Riss breitet sich typischerweise radial aus und bildet idealerweise charakteristische Zonen aus, die den Rissfortschritt dokumentieren. Der Bruchspiegel, eine diffuse, relativ homogene Region, wird gefolgt von einer eher inhomogenen Corona und schließlich von sich radial ausbreitenden Linien. Trifft die Rissfront auf ein Hindernis, sucht sich der Riss den „leichtesten“ Weg und wird abgelenkt oder umgeht die Fehlstelle. Als Resultat bleibt ein „Schweif“ zurück. An gewissen Stellen kann es schließlich auch zum „Abbremsen“ eines Risses kommen, was dann typische, halbmondförmige Linienmuster hinterlässt, die wiederum auf ihrer konkaven Seite auf den Bruchursprung deuten (Abb. 1). Kurz vor dem Abplatzen des Fragments von der Restauration kommen dann meist hohe Druckspannungen mit ins Spiel und die Rissfront wird deutlich abgelenkt.

Neben dieser qualitativen Analyse können auch quantitative Aussagen zur Höhe der für den Bruch notwendigen

Kräfte getroffen werden. Dazu werden die Bruchmerkmale vermessen, in einen bruchmechanischen Zusammenhang gebracht, um daraus die Spannung zu berechnen.

Die Methode wird klinische Fraktografie genannt, da man versucht, reale Gegebenheiten in der Mundhöhle nachzuvollziehen. Dies geschieht an den gewonnenen Bruchfragmenten (Abb. 3c) oder aber durch sehr fein zeichnende, intraorale Silikonabdrücke der entsprechenden Region und anschließender Replikatechnik (Abb. 3d). Der Vorteil dieser Methode besteht darin, nicht mittels Laborexperimenten zu versuchen, das Geschehen in der Mundhöhle zu simulieren, sondern die reale klinische Situation zu analysieren und Empfehlungen zur Vermeidung solcher Frakturen auszusprechen (Proof-Test).

### Ursachen für Keramikfrakturen

Aufgrund der beschriebenen Besonderheiten von spröden Keramiken und Zirkonoxid und aufgrund der bis dato gesammelten klinischen Erfahrungen im Umgang mit dem Werkstoff konnten Empfehlungen für den keramikgerechten Umgang definiert werden (weiterführende Informationen werden auch unter [ag-keramik.eu](http://ag-keramik.eu) bereitgestellt). Keramikfrakturen oder Chippings in der Verblendung können dadurch minimiert werden, dass über die komplette Fertigungskette einer Restauration (Hersteller – Labor – Praxis) folgende Kriterien Beachtung finden:

- ▶ Kontraindikationen für Vollkeramik beachten: Bruxismus, Parafunktion, fehlende Front-Eckzahnführung, Deck-/Tiefbiss, Kiefergelenksbeschwerden, gelockerte Zähne, unzureichende Mundhygiene etc. (Praxis, Abb. 3)
- ▶ Wahl einwandfreier Ausgangsmaterialien zertifizierter Hersteller sowohl als Gerüst- wie auch als Verblendmaterialien. (Hersteller/Labor)
- ▶ Abstimmung von Gerüst- und Verblendmaterialien hinsichtlich ähnlicher Wärmeausdehnung, um Spannungen im Herstellprozess zu vermeiden (Empfehlung: Im System bleiben). (Labor)
- ▶ Keramikgerechte Präparation hinsichtlich Mindestschichtstärken, Übergangswinkeln (Innenwinkel und koronare Stumpfkanten sind abzurunden, Gestaltung möglichst rechter Winkel)

und Verbinderdimensionen. Die anatomische Formgestaltung einer Kronenkappe oder eines Brückengerüsts ist empfohlen, um eine gleichmäßige Verblendschicht zu erzielen. (Praxis)

- ▶ Präparation von Stufen und Hohlkehlen, keine flachen Hohlkehlen, Tangentialpräparationen und Abschrägungen. (Praxis)
- ▶ Vermeidung extensiven Beschleifens des Gerüsts und des Innenlumens ohne Wasserkühlung (besonders mit grobkörnigen Diamantschleifern) oder Abstrahlen der Keramikoberflächen mit zu hohem Strahlendruck oder zu grobem Strahlmittel. (Labor/Praxis)
- ▶ Entspannungsabkühlung (langsame Abkühlung nach dem Sinterbrand der Verblendkeramik) besonders bei Verwendung von Zirkonoxid zur Vermeidung von inneren Spannungen in der Verblendkeramik (Chippinggefahr). (Labor)
- ▶ Einprobe ist vor der Verblendung bzw. vor dem Glanzbrand empfohlen. (Praxis)
- ▶ Endvergütung durch Polieren oder durch zusätzlichen Glanzbrand, um die Lebensdauer einer Restauration im Mund zu steigern. Der Glanzbrand ist einer Abschlusspolitur vorzuziehen. Abbildung 4 verdeutlicht den Einfluss einer perfekten Politur auf die Materialfestigkeit der Restauration. (Praxis)
- ▶ Nach Möglichkeit ist eine stoffschlüssige, adhäsive Befestigung einer konventionellen Zementierung vorzuziehen. (Praxis)
- ▶ Beachtung funktioneller Gegebenheiten, verbunden mit mehrmaliger Nachkontrolle der Okklusion nach der Eingliederung. (Praxis) ◀◀

### >> KONTAKT



**Priv.-Doz. Dr.-Ing. Ulrich Lohbauer**  
Zahnklinik 1 –  
Werkstoff-  
kundliches Labor  
Universitäts-  
klinikum Erlangen  
Glückstraße 11

91054 Erlangen  
Tel.: 091 31/8 54 37 40  
Fax: 091 31/8 53 42 07



# Einfach immer hygienisch:

**STERILE ENDO-INSTRUMENTE**  
VON VDW UNTERSTÜTZEN  
DIE ZAHNARZTPRAXIS  
BEI DER EINHALTUNG DER  
RKI-HYGIENEEMPFEHLUNGEN



## Sterile Endo-Instrumente von VDW.

### Mehr Sicherheit für Sie und Ihre Patienten

- Kein Sterilisieren vor der ersten Anwendung
- Gebrauchsfertige Instrumente einzeln entnehmbar
- Steriles Sortiment: Stahl-Instrumente, NiTi-Feilen (Mtwo®, FlexMaster®), Papierspitzen
- TÜV-geprüftes Qualitätsmanagement

Fordern Sie unsere Reinigungs- und Sterilisationshinweise an.  
Weitere Informationen erhalten Sie bei:

**VDW GmbH**  
Postfach 830954 • D-81709 München  
Tel. +49 89 62734-0 • Fax +49 89 62734-304  
www.vdw-dental.com • info@vdw-dental.com



**Wir bringen Hygiene auf den Punkt!**  
VDW. Steril-Kompetenz seit über 30 Jahren.



**Endo Einfach Erfolgreich®**