

Kronen und Brücken

# Korrekte Modellierung von Zirkoniumdioxidgerüsten

Jan Hajtó

**Vollkeramische Restaurationen kamen in der zahnärztlichen Prothetik in den letzten Jahren umfangreich zum Einsatz. Die Einführung von hochfesten Strukturkeramiken wie Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid (3Y-TZP) hat die Indikation von Keramik in der Zahnmedizin stark ausgeweitet. Vollkeramikronen und Brücken sind so auch im stärker belasteten Seitenzahnbereich möglich [1,2].**

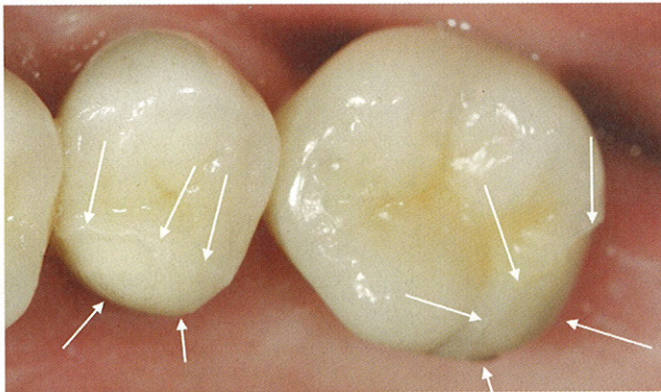


Abbildung 1:  
Charakteristische  
Abplatzungen der  
Verblendkeramik von  
Zirkonoxid-gestützten  
Kronen

Während eine Reihe klinischer Studien die erfolgreiche Verwendung von Zirkonoxid für Brücken belegt [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], existieren so gut wie keine Studien zu Einzelkronen. Gerüstfrakturen wurden in diesen Studien nicht beobachtet, allerdings finden sich unterschiedlich hohe Chippingraten von 0 Prozent [7] bis zu teilweise 25 Prozent nach drei Jahren [10,14].

## Chipping

Als „Chipping“ werden kohäsive Frakturen innerhalb der Verblendkeramik bezeichnet (Abbildung 1). Im Mittel ergibt sich aus den genannten Studien eine durchschnittliche Häufigkeit von etwa 4 Prozent pro Jahr. Allerdings ist diese hohe Zahl insofern zu relativieren, da sich die Angaben jeweils auf die Anzahl der untersuchten Brücken beziehen. Das Frakturereignis betrifft dadurch drei oder mehr Einheiten. Hätte es sich um Einzelkronen gehandelt, so wären von drei benachbarten Kronen, zwei unversehrt geblieben. Unter der Annahme, dass zwar

in einigen Fällen, mehrfache Frakturen je Brücke aufgetreten sein können, dass aber andererseits auch mehr als dreigliedrige Brücken untersucht wurden, kann dieser Wert in etwa gedrittelt werden. Daraus lässt sich eine ungefähre Größenordnung von 1,8 Prozent pro Jahr für Einzelkronen ableiten. Diese ist eindeutig höher als bei Metallkeramik. Für Metallkeramik wird eine geschätzte Verblendfrakturhäufigkeit von circa 0,6 Prozent bis 2,2 Prozent pro Jahr mit ei-

ner Vielzahl möglicher Ursachen angegeben [15,16,17]. Diese Angaben sind wiederum unter Vorbehalt zu sehen, da die Datenlage recht dünn ist und daneben wichtige Parameter nicht bekannt sind. Bei geringer Fallzahl kann zum Beispiel ein einziger Bruxer den Prozentsatz vervielfachen [18]. Sind solche Patienten von vorneherein ausgeschlossen, so sind die Raten deutlich geringer.

„Gefühlt“ und aus anekdotischen Berichten war in den letzten Jahren dennoch ein eindeutiger Trend einer gegenüber Metallkeramik erhöhten Häufigkeit im klinischen Alltag erkennbar. Allerdings scheint es ebenso wie in der wissenschaftlichen Literatur auch in der allgemeinen Praxis deutliche Unterschiede von Zahnarzt zu Zahnarzt zu geben. Eine aktuelle Studie belegt das Vorhandensein ausgeprägter praxisindividueller Unterschiede (Abbildung 2) [19].

In der eigenen Praxis – mit seit dem Jahr 2003 mehreren hundert eingesetzten Zirkonoxidkronen und -brücken – spielt das Chippingproblem in den letzten Jahren mit zunehmendem Erkenntnisgewinn und fortschreitender Materialverbesserung inzwischen keine größere Rolle als bei Metallkeramik. Dabei fiel auf, dass sich 80 Prozent der eigenen Chippings auf wenige Patienten und auf Arbeiten von wenigen unerfahrenen Zahntechnikern konzentrierten. Die Problempatienten waren funktionell nicht ausreichend vorbehandelt, hatten multiple Implantate und in der Mehrzahl Parafunktionen. Hinzu kam häufig eine ungenügende funktionelle zahntechnische Umsetzung ohne eine korrekte Front-Eckzahnführung. Daneben spielten aber ganz offensichtlich

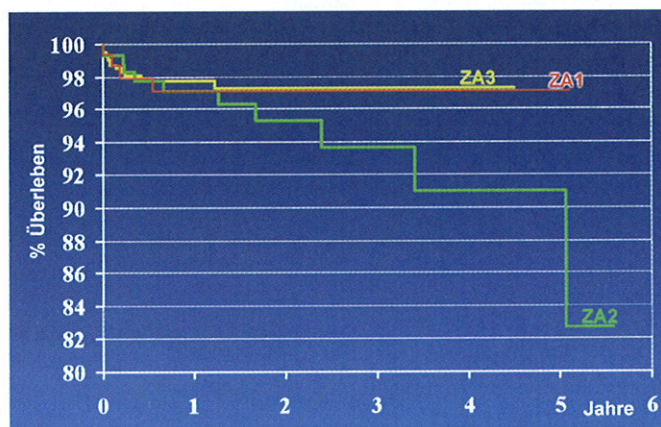


Abbildung 2:  
Kaplan-Meier-Kurven  
für Kronen und Brücken  
(Kriterium: Verblendkeramikfraktur);  
Zahnarzt 1 rot,  
Zahnarzt 2 grün,  
Zahnarzt 3 gelb.  
(Mit freundlicher  
Genehmigung Prof.  
Th. Kerschbaum [19])

auch weitere laborseitige Faktoren eine besondere Rolle, bei deren Berücksichtigung sich die Chippingraten stark reduzieren lassen. Auf diese Kriterien soll im Folgenden genauer eingegangen werden.

### Anatomische Unterstützung

Infolge einer zu raschen Abkühlung der aufgetragenen Krone nach dem Verblenden im Keramikofen kommt es zu inneren Spannungen im vollkeramischen Gerüst und in-

des Zirkonoxids ist dieser Effekt gegenüber metallkeramischen Restaurationen sehr stark erhöht (Abbildung 3). Dieser Unterschied verringert die Verarbeitungsbandbreite und die Fehlertoleranz bei Zirkonoxid und die in der Verarbeitungsanleitung beschriebenen Prozesse müssen genau eingehalten werden.

Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je schneller die Keramik abgekühlt wird. Aus diesem Grund ist es von allergrößter Bedeutung, Zirkonoxidarbeiten besonders lang-

hin zu kompletten oralen Zirkonanteilen unterhalb des Kronenäquators oder zu Approximalkontakten in Zirkonoxid [20]. Grundsätzlich nehmen die Zugspannungen in der gesamten Krone bei dickeren Gerüsten ab [21]. Die erhöhte Steifigkeit eines massiven Gerüsts hat dabei ebenfalls einen Einfluss auf die Verblendung, da es Biegemomenten unter Last besser widerstehen kann. Laborversuche haben gezeigt, dass Kronen mit anatomisch unterstützenden Zirkonoxidgerüsten deutlich weniger Chippings aufweisen [22,23].

Eine kontrollierte Steuerung der Gerüst- und Verblendkeramikstärke ist am besten mittels einer exakten dreidimensionalen Berechnung der Reduktion bezüglich der späteren vollanatomischen Form möglich. Moderne dentale Modellierungssoftwares leisten eine solche Berechnung auf Knopfdruck (Abbildung 6).

### Brückenverbinder

Bei der Gestaltung von Brückengerüsten ist vor allem eine ausreichende Dimensionierung der Verbinder zu beachten. Allerdings sind die Angaben in der Literatur nicht immer einheitlich. Studien von Studart [24] ergaben, dass mit einer zunehmenden Zahl von benachbarten Brückengliedern, die Verbinderquerschnitte deutlich ansteigen müssen, um eine mindestens 20-jährige Lebensdauer sicherzustellen. Für  $ZrO_2$  werden als

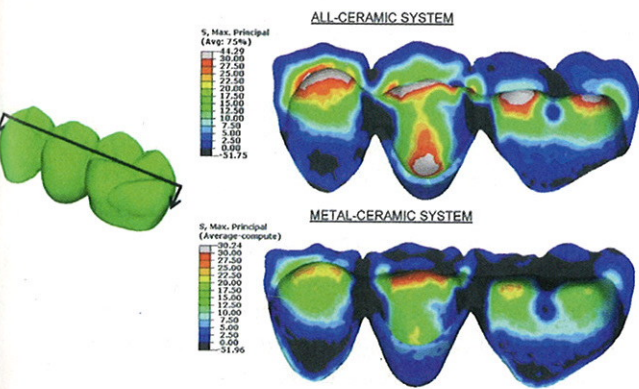


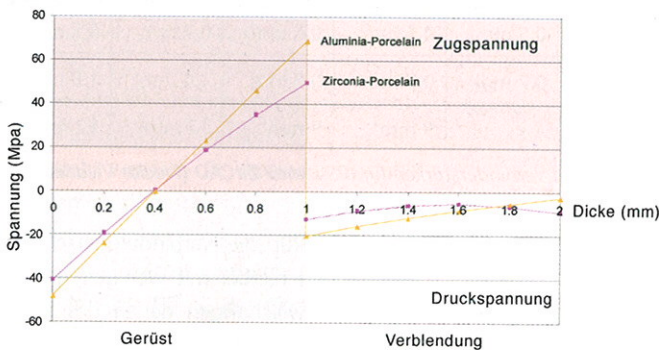
Abbildung 3: Die an der Grenzfläche „Gerüst/Verblendung“ entstehenden Zugspannungen bei Zirkoniumdioxid-Vollkeramik (oben) und Metallkeramik (unten): Die roten und grauen Bereiche entsprechen besonders hoher Zugspannung. Auch bei Metallkeramik finden sich derartige Bereiche, allerdings nur bis maximal 33 MPa gegenüber 44 MPa bei Zirkon. (Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Markus Vollmann, DeguDent GmbH, Hanau)

nerhalb der Verblendschicht. Entscheidend für das Chipping sind Zugspannungen im Kern der Verblendung. Nach diesem Prinzip erfolgt zum Beispiel auch die Herstellung von Sicherheitsglas, das zerspringt, sobald ein einwirkender Riss in die innere – in Zugspannung stehende – Zone vordringt. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit

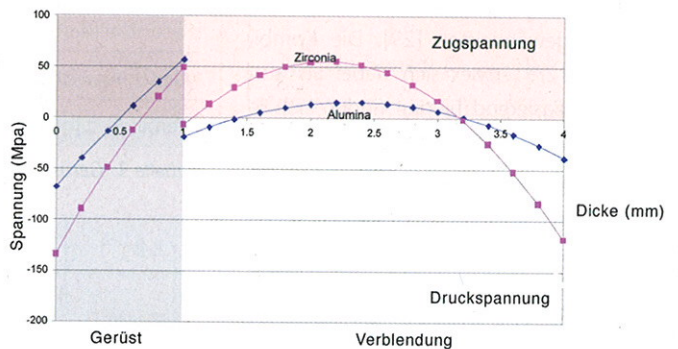
sam abzukühlen. Dieser Effekt ist außerdem umso größer, je dicker die Verblendung ist (Abbildungen 4 und 5).

Eine anatomische Höckerunterstützung wird seit Längerem nicht zuletzt wegen der besseren mechanischen Stabilisierung der Verblendung gegen abscherende Kräfte propagiert. Dies erstreckt sich zum Teil bis

2 Keramikschichten mit je 0,5mm Dicke: Kombinierte Restspannung bei 50C°/Sek. Abkühlung



2 Keramikschichten mit 5mm (Gerüst 1mm, Verblendung 4mm) Dicke: Kombinierte Restspannung bei 50C°/Sek. Abkühlung



Abbildungen 4 und 5: Die „eingefrorene“ Restspannung im Gerüst- (grau) und im Verblendmaterial (weiß) von Vollkeramikkrone: Zugspannungen (im roten Bereich) begünstigen eine Zersplitterung der Keramik infolge zusätzlicher, in diese Zone eindringender Kräfte.

Abbildung 4: Bei dünner Verblenddicke treten Druckspannungen auf.

Abbildung 5: Bei einer dicken Schicht Verblendkeramik verbleiben signifikante Restzugspannungen in der Verblendung. Für Zirkonoxid sind diese bis zu dreimal so hoch wie bei Aluminiumoxid.

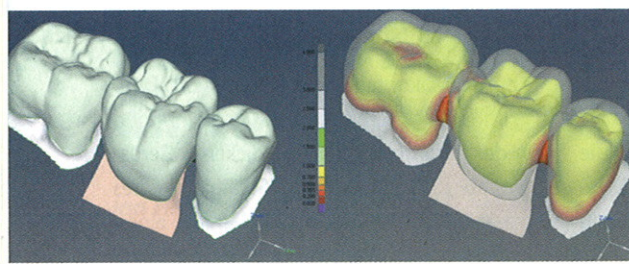


Abbildung 6: Ausgehend von einer virtuellen vollanatomischen Brückenmodellierung (links) wird eine gleichmäßige Reduktion errechnet (gelbe Flächen). Im Bereich der Kronenränder, der Verbinder und bei zu geringem Platz kann der eingestellte Wert unterschritten werden (rote Bereiche). (Software: absolute Ceramics / geomagic)

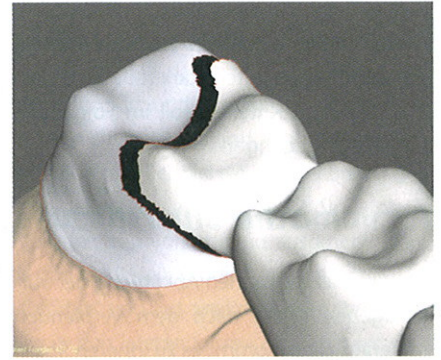


Abbildung 7: Konnektorbrüche vollkeramischer Brücken verlaufen häufig auch im Kappchen. 3D-Modell eines anatomisch reduzierten Gerüsts.

Empfehlung folgende Minimaldurchmesser für zylindrische Verbinder bei Seitenzahnbrücken angegeben [25]:

Es ist zu beachten, dass Schwebelücken grundsätzlich eine größere Dimensionierung des Verbinderelements erfordern.

Seitenzahnbrücke	3-gliedrig (1 Brückenglied)	4-gliedrig (2 Brückenglieder)	5-gliedrig (3 Brückenglieder)
Durchmesser	2,7 mm	4,1 mm	4,9 mm
Fläche des runden Querschnitts	5,7 mm <sup>2</sup>	12,6 mm <sup>2</sup>	18,8 mm <sup>2</sup>

Tabelle 1: Minimaldurchmesser für zylindrische Verbinder bei ZrO<sub>2</sub>-Seitenzahnbrücken[25]

Es konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass viergliedrige Brücken mit Verbinderstärken von 7,3 mm<sup>2</sup> (rechteckige Querschnitte 2,7 mm x 2,8 mm) bei Belastungen von 500 N mit einer Wahrscheinlichkeit von 100 Prozent brechen werden [26]. Konservative Empfehlungen liegen bei 9 mm<sup>2</sup> (rechteckige Querschnitte 3 mm x 3 mm) für dreigliedrige und 16 mm<sup>2</sup> (4 mm x 4 mm) für viergliedrige Seitenzahnbrücken [27, 28]. Nicht in allen klinischen Fällen sind solche Platzverhältnisse gegeben, dass diese sicheren Vorgaben immer erfüllt werden können. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen durchgeführt, um zu ermitteln, bis zu welchem Maße verringerte Konnektor-Querschnitte bei viergliedrigen Brücken eine hinreichende Stabilität gewährleisten [29]. Die Kombination 9/12/9 erwies sich dabei als ausreichend. Basierend hierauf finden sich in der Herstellerempfehlung zum LAVA-System folgende Minimalangaben [30]:

Dauerschwingversuche zeigen, dass die Werte aus Tabelle 1 ausreichend sind [31]. Der inzwischen mehrjährige erfolgreiche Einsatz von ZrO<sub>2</sub> nach diesen Vorgaben belegt, dass sie im Rahmen der bisherigen Beobachtungsdauer den klinischen Bedin-

gungen genügen. Da ein häufiges typisches Frakturgeschehen von vollkeramischen Brücken im Verbinderbereich dadurch charakterisiert ist, dass sich der Bruchverlauf auch auf das benachbarte, deutlich dünnere Kronenkappchen erstreckt (Abbildung 7), sollten Gerüstkappen auf Brückenpfeilern okklusal immer zusätzlich verstärkt werden. Nach den Vorgaben des Herstellers Ivoclar Vivadent sollten dabei folgende Mindestwerte eingehalten werden [32]:

	K	K-K	K-B-K	K-B-B-K	K-SB
<b>Frontzahnbereich</b>					
Gerüstmindeststärke zirkulär	0,5 mm	0,5 mm	0,5 mm	0,7 mm	0,7 mm
Gerüstmindeststärke inzisal	0,7 mm	0,7 mm	0,7 mm	1,0 mm	1,0 mm
Verbinderstärken	–	7 mm <sup>2</sup>	7 mm <sup>2</sup>	9 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>
<b>Seitenzahnbereich</b>					
Gerüstmindeststärke zirkulär	0,5 mm	0,5 mm	0,5 mm	0,7 mm	0,7 mm
Gerüstmindeststärke okklusal	0,7 mm	0,7 mm	0,7 mm	1,0 mm	1,0 mm
Verbinderstärken	–	9 mm <sup>2</sup>	9 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>

Tabelle 3: Gerüstmindeststärken und Verbinderstärken für IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent)

	K-K	K-B	B-B	K-SB
Verbinderquerschnitte im Frontzahnbereich	7 mm <sup>2</sup>	7 mm <sup>2</sup>	7 mm <sup>2</sup>	8 mm <sup>2</sup>
Verbinderquerschnitte im Seitenzahnbereich	9 mm <sup>2</sup>	9 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>	12 mm <sup>2</sup>

Tabelle 2: Mindestquerschnitte nach Angaben von 3M Espe für das LAVA-System

Die Werte für die Verbinderquerschnitte entsprechen hierbei mit wenigen geringfügigen Abweichungen denen des LAVA-Systems, so dass diese als allgemeingültig angesehen werden können. Die in der AG Keramik vertretenen Keramikhersteller haben folgende Empfehlungen für die Verwendung von ZrO<sub>2</sub> für Brücken erarbeitet:

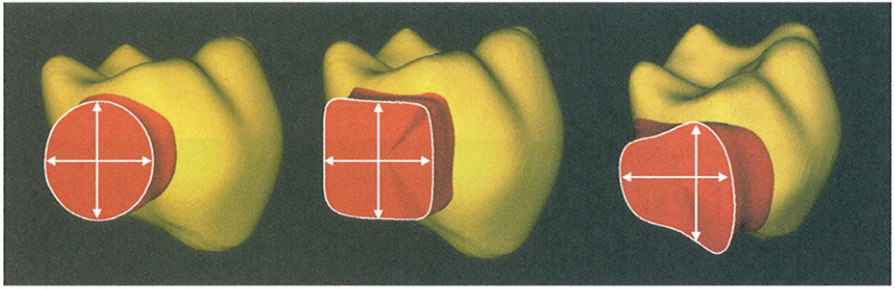


Abbildung 8: Bei unterschiedlichen Geometrien resultieren bei gleicher Höhe und Breite unterschiedliche Querschnittsflächen. Bei jeweils 4 mm Breite und Höhe ergeben sich – für a) einen kreisrunden Querschnitt:  $12,6 \text{ mm}^2$ , b) einen quadratischen Querschnitt:  $16 \text{ mm}^2$  oder bei c) unregelmäßigen Querschnitten – nur im Computer zu berechnende Querschnittsflächen.

„Verbinderstellen im Frontzahnbereich benötigen als Querschnittsfläche  $7 \text{ bis } 9 \text{ mm}^2$ , bei mehrgliedrigen Brücken  $7 \text{ bis } 12 \text{ mm}^2$ , abhängig von der Anzahl der Einzel- und Zwischenglieder. Verbinderstellen im Seitenzahnbereich benötigen  $8 \text{ bis } 12 \text{ mm}^2$ , bei

Ovale oder unregelmäßige Konturen lassen sich noch schwieriger berechnen oder abschätzen. Da Seitenzahnbrücken hauptsächlich aus okklusaler Richtung belastet werden, spielt die minimale Höhe des Konnektors eine größere Rolle als dessen horizontale Ausdehnung. Da die größte Zugspannung an der Basalfläche der Konnektoren auftritt, sollte deren Höhe einen Wert von  $3 \text{ mm}$  nie unterschreiten [34]. Wegen der basalen Zugbelastung muss die Verbinderunterseite daher immer gut abgerundet sein (Abbildung 9).

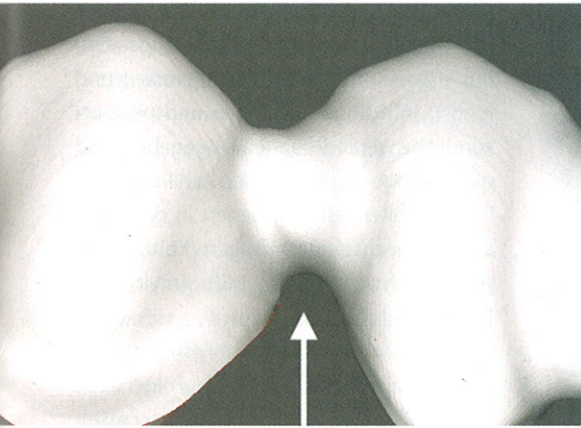


Abbildung 9: Die Konnektoren müssen basal deutlich abgerundet sein, um bei Zugspannungen keine Kerbwirkung zu entfalten.

mehrgliedrigen Brücken  $9 \text{ bis } 12 \text{ mm}^2$ , abhängig von der Anzahl der Einzel- und Zwischenglieder. Besonders Zwischen- und Schwebelbrückenglieder erfordern  $12 \text{ bis } 16 \text{ mm}^2$  [33]. Es verbleibt demnach je nach Situation ein gewisses Maß an individueller Einschätzung. Ungünstige Situationen müssen erkannt werden und grundsätzlich sollte, sofern Platz vorhanden ist, immer angestrebt werden, die Verbinder so stabil wie möglich zu gestalten.

Eine sichere Einhaltung von Mindesthöhen, -breiten oder -flächen ist nur über eine numerische Modellierung am Computer möglich. Dies erlaubt außerdem eine dokumentierte und auch im Nachhinein nachvollziehbare Dimensionierung. Im Falle von Frakturen können so mögliche Ursachen eruiert werden. Bei freihändig gestalteten und über Kopierfrässysteme hergestellten Gerüsten sind sichere Mindeststärken nicht immer gewährleistet.

Eine Schwierigkeit in der labortechnischen Umsetzung solcher Empfehlungen liegt darin, dass die Fläche des Querschnitts in Abhängigkeit von der Kontur des Querschnitts deutlich variiert (Abbildung 8).

Bei einem runden Querschnitt sind eine Höhe und eine Breite von  $3,4 \text{ mm}$  notwendig um eine Fläche von  $9 \text{ mm}^2$  zu erhalten.

Dr. Jan Hajtó  
Praxis für ästhetische Zahnheilkunde  
Weinstr. 4  
80333 München  
dr.jan.hajto@t-online.de

**zm** Leser service

Die Literaturliste kann im Bereich Download auf [www.zm-online.de](http://www.zm-online.de) abgerufen oder in der Redaktion angefordert werden.