

Zirkonoxid braucht Kenntnisse

U. Lohbauer
Erlangen

Die Entwicklung der computergestützten Restauration wurde im Wesentlichen dadurch beeinflusst, dass die Digitalisierung der Präparation durch lichteoptische, Software-geführte Aufnahmetechniken Datensätze generierte, mit denen auf NC-Fräsaautomaten Gerüste für Kronen und Brücken gefertigt werden konnten. Diese Technologie ermöglichte auch, polykristalline Oxidkeramiken im subtraktiven Verfahren zu verarbeiten. Dadurch wurde Zirkoniumdioxidkeramik (ZrO_2) zum Werkstoff der Wahl für mehrgliedrige Front- und Seitenzahn-Rekonstruktionen sowie für Suprastrukturen in der Implantatprothetik. Über 380 000 Restaurationen wurden 2011 in Deutschland aus ZrO_2 hergestellt und eingegliedert. Der Markt wächst und ZrO_2 hat das Potenzial, den Prothetikmarkt für festsitzenden Zahnersatz zu dominieren.

Zur klinischen Bewährung wurde literaturbelegt festgestellt, dass sich ZrO_2 für Brückengerüste im Front- und Seitenzahnbereich qualifiziert hat. Nach einer fiktiv angenommenen Belastungsdauer von 10 Jahren konnten für ZrO_2 -Proben sehr günstige Dauerfestigkeiten mit Ausfallwahrscheinlichkeiten deutlich unter 1% nachgewiesen werden [9]. Dies erklärt auch, warum in nachfolgenden zyklischen Belastungsversuchen (Kausimulator), die mit 3-gliedrigen ZrO_2 -Brücken durchgeführt wurden, selbst bei einer mittleren maximalen Kaubelastung von 500 N (entspricht 50 kg/mm^2) über einen extrapolierten Zeitraum von mehreren Jahrzehnten sich das Frakturrisiko für die Brücken kaum erhöht [10]. Klinisch wurden 65 3- und 4-gliedrige ZrO_2 -Brücken über 7,5 Jahre beobachtet (mittlere Beobachtungszeit: 5 Jahre). Es wurden keine absoluten Misserfolge, d. h. keine Gerüstfrakturen festgestellt. Langzeituntersuchungen mit 4-gliedrigen ZrO_2 -Brückengerüsten (Lava, 3M Espe) an den Universitäten Frankfurt/M., München und Tübingen zeigten ebenfalls keine Gerüstfrakturen [2, 5, 6]. Anbetrachts der literaturbelegten Erfahrung, dass VMK-Brücken nach 5, 10 und 15 Jahren Tragezeit Überlebensraten von 96, 87 und 85% aufweisen [12] – also pro Jahr mit einer Verlustquote von etwa 1% zu rechnen ist – erweist

sich ZrO_2 für Brückengerüste im Front- und Seitenzahnbereich als eindeutig geeignet. Auch Freidendbrücken konnten sich in separaten Studien bislang ohne Frakturen bewähren [3, 4]. Qualitätsaufzeichnungen in Zahntechniklabors ergaben eine äußerst kurze Mängelliste für ZrO_2 mit Gerüstfrakturaten weit unter 1% im Beobachtungszeitraum von 4–5 Jahren. Ein Fräszentrum mit einer Fertigungskapazität von über 1000 ZrO_2 -Gerüsten pro Arbeitstag (!) berichtete, dass der Anteil der Gerüstfrakturen bei eingegliederten Brücken innerhalb eines mehrjährigen Zeitraums im Promillebereich liegt.

Schwachstelle Verblendung?

Ganz ungetrübt ist die klinische Erfahrung mit ZrO_2 jedoch nicht. Auf dem Keramiksymposium wiesen Referenten auf das Risiko der Verblendfrakturen (Chippings) hin (Tab. 1). So wurden in einigen Studien Chippings beobachtet, deren Misserfolgsrate einen Anteil von bis zu 25% erreichte [8, 13]. Die Abplatzungen traten oft innerhalb der ersten 3 Jahre auf [11]. Dafür verantwortlich ist, dass anfänglich die ZrO_2 -Gerüste im Vertrauen auf die hohe Bruchbiegefestigkeit sehr grazil mit dünnen Wandstärken ausgeschliffen und dicke Verblendschichten aufgetragen wurden, die unter Kaudruck Opfer von Zugspannungen wurden (Abb. 1). Ferner waren die WAK-Werte (WAK = Wärmeausdehnungskoeffizienten) zwischen Gerüst- und Verblendwerkstoff nicht immer optimal abgeglichen. Empfehlenswert ist, die Wandstärke der ZrO_2 -Gerüste nicht unter 0,8 mm einzustellen und die Gerüstform anatoforn (der anatomischen Form folgend) zu gestalten, sodass die Verblendung von den Höckern unterstützt wird (Abb. 2). Die hohe Kaubelastung ist aber auch für konventionelle Werkstoffe eine Herausforderung; so ergab eine Metaanalyse von Studien mit 4118 metallkeramischen Brücken, dass nach 15 Jahren 20% Misserfolge eingetreten waren [1]. Deshalb betonen

Kliniker, dass in Langzeitstudien mit ZrO₂-Restaurationen nur jene Zwischenfälle aufgetreten sind, die wir auch von der Metallkeramik in ähnlicher, prozentualer Größenordnung kennen: postoperativer Vitalitätsverlust und Abplatzungen der Verblendkeramik [7].

Um Frakturrisiken für die Verblendung auf ZrO₂-Gerüsten zu vermeiden, sollten folgende Grundsätze Beachtung finden: Die Kronenkappe oder das Brückengerüst sollte den verfügbaren Raum für ausreichende Wandstärken nutzen – zusammen mit der Höckerunterstützung. Das größte Volumen sollte das Gerüstmaterial beanspruchen. Hier macht es keinen Sinn, mit dünnen Gerüsten Material zu sparen. Die unter dem Gesichtspunkt der Festigkeit schwächere Verblendkeramik sollte eine Schichtstärke von 1,5 mm nicht übersteigen; sie sollte nur dort verwendet werden, wo deren ästhetische Vorteile auch benötigt werden. Auf starke Einziehungen zwischen Brückengliedern sollte verzichtet werden, wann immer das möglich ist.

„Heilbrand“ – ja oder nein

Nun ist es so, dass im Laboralltag das ZrO₂-Gerüst beim Aufpassen auf das Modell oftmals subtraktiv nachbearbeitet wird, besonders an den Rändern. Die durch das Schleifen mit Diamantinstrumenten mikrofeinen „Zerstörungen“ auf der Gerüstoberfläche bzw. deren Folgeschäden in der Keramikstruktur sollen durch Temperung rehabilitiert werden. Damit sind wir beim Regenerationsbrand – oder auch „Heilbrand“ genannt – angelangt, der in der Fachwelt noch kontrovers diskutiert wird.

Der Grund für das thermische Regenerieren nach der Korrekturbearbeitung liegt darin, dass durch das mechanische Bearbeiten der Gerüstoberfläche der Oxidkeramik Energie zugeführt wird. Dies kann einerseits zu Verzerrungen des ZrO₂-Kristallgitters, aber auch zu einer Phasentransformation (Umwandlung des tetragonalen Gitters in monoklin) führen. Was bei der lokalen, tetragonalen „Rissheilung“ durchaus erwünscht ist, kann sich bei größeren Flächen fatal



Abb. 2 Das höckerunterstützende Gerüst folgt der anatomisch reduzierten Form und stabilisiert die Verblendkeramik (Quelle: Tinschert).

Tab. 1 ZrO₂-Gerüste blieben weitgehend frakturfrei; Chippings stören den klinischen Erfolg (Quelle: Kern).

Erstautor	N	Keramik	Zeit (Monate)	Misserfolgsrate [%]			Zement
				Ant.	Pm	M	
Suárez 2004	10	In-Ceram Zr	36	0*	5,5		C
Raigrodski 2006	20	Lava	31	–	0*	0*	C
Edelhoff 2008	22	DigiZon	39	0*	0*	0*	C/A
Pospiech 2008	35	Lava	60	–	–	0*	C
Tinschert 2008	65	DCS	37	0*	0*		C/A
Wolfart 2008	24	Cercon	45	–	4*		C
Wolfart 2008	37	Cercon cantil.	46	–	8,1**		C
Beuer 2009	21	Cercon	40	–	9,5		C
Eschbach 2009	65	In-Ceram Zr	54	–	–	3,1*	C
Schmitt 2009	27	Lava	34	–	0*		C
Sorrentino 2011	48	Procera Zr	72	–	0*		A
Sax 2011	41	DCM	128	–	33,0**		A
Kern 2012	36	e.max Press	121	0*	12,1*		C/A

A = adhäsive Befestigung, C = konventionelle Zementierung

* bis zu 25% zusätzliche Verblendungsfrakturen, **2,2–4,8% Gerüstfrakturen

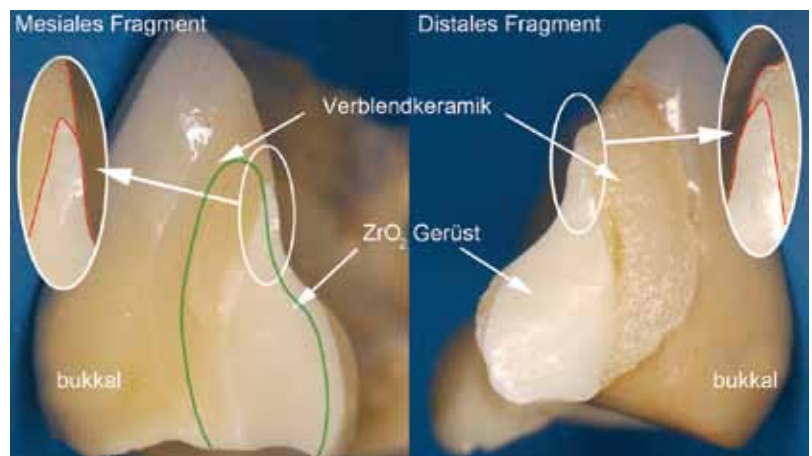


Abb. 1 Fraktur einer verblendeten ZrO₂-Brücke: Das Gerüst wurde palatinal eingeschliffen (spitz zulaufende Tropfenform) und bot der Verblendung keine ausreichende Unterstützung. Die überdimensionierte Verblendschicht geriet unter Zugspannung (Quelle: Lohbauer).

auswirken (Abb. 3). Zum einen kommt es zu einer diskontinuierlichen Veränderung des Volumens, zum anderen haben die beiden Phasen unterschiedliche WAK. Beides kann nachteilige Folgen für die Verblendung haben. Deshalb ist

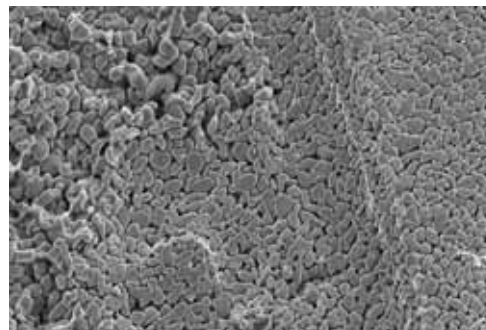


Abb. 3 Schäden im ZrO₂-Kristallgitter durch Energieeintrag, ausgelöst durch unsachgemäßes Beschleifen des Gerüsts (Quelle: Lohbauer).

das Beschleifen unbedingt auf kleine Flächen zu beschränken und mit großer Sorgfalt durchzuführen (Laborturbine, hohe Drehzahl, Wasserkühlung, Feinkorndiamant, geringer Anpressdruck, kurzzeitige Bearbeitung). Stark belastete Teile der Restauration, z. B. Konnektoren, sollten keinesfalls nachträglich bearbeitet werden.

Da ZrO_2 aufgrund der unterschiedlichen, industriellen Herstellmethoden nicht gleich ZrO_2 ist, erlaubt ein Teil der Keramikhersteller den optionalen Regenerationsbrand (Straumann, Ivoclar-Vivadent, KaVo, Sirona, VITA). So empfiehlt Straumann folgendes Vorgehen: VT 500 °C, Aufheizrate 100 °C/min, Brand 1000 °C ohne Vakuum, Brenndauer 15 min, keine Langzeitabkühlung. Ivoclar-Vivadent: Brand 1050 °C, 15 min Dauer, Langzeitabkühlung auf 750 °C zur thermischen Entspannung. KaVo, Sirona, VITA: Brand 1000 °C, 15 min Haltezeit. Die Temperung ist laut Herstellerempfehlung dann angezeigt, wenn eine großflächige Bearbeitung des Gerüsts stattgefunden hat, z. B. nach dem Abtrag von Höckern oder nach Reduzierung der Wandstärke. Wichtig zu wissen ist, dass entstandene Mikrorisse, auch durch Abstrahlen unter hohem Druck, durch die Temperung nicht regeneriert werden können. Andere Keramikhersteller sehen keine Erfordernisse für das thermische Regenerieren (3M Espe, Heraeus, Nobel Biocare, Wieland). Hier gilt das Credo, dass der „Heilbrand“ keine Mikrorisse oder Sprünge in der Gerüststruktur verschließt – was sich oftmals Zahntechniker von der Temperung erhoffen. Damit soll der Verführung zu großflächigen Gerüstkorrekturen mit anschließender Regeneration Einhalt geboten werden, weil bei unsachgemäßem Beschleifen Strukturschäden im Kristallgitter zurückbleiben können. Demzufolge lohnt es sich also, den Verarbeitungshinweisen der Hersteller (Gerüstkeramik sowie Verblendkeramik) Beachtung zu schenken.

... und wie steht's mit dem Abstrahlen?

Das Abstrahlen als Maßnahme zur Reinigung der äußeren, zu verblendenden Gerüstflächen wird von den Keramikherstellern fast ausnahmslos abgelehnt. Damit soll durch mechanische Beanspruchung keine neue Energie in das ZrO_2 -Kristallgitter mit dem Risiko der WAK-Verschiebung hineingetragen werden. Für das Gerüstreinigen ist das Abdampfen bestens geeignet und ausreichend. Anders verhält es sich bei den nicht verblendeten Innenflächen der Krone, die aufgrund der glatten Oberfläche keine Mikroretention aufweist. Anätzen mit Flußsäure (HF) scheidet aus, weil ZrO_2 keine Glasphase enthält; somit bleibt HF-Ätzen ohne Wirkung. Um ein Retentionsmuster für die definitive Befestigung zu schaffen, empfehlen die meisten Keramikhersteller (3M Espe, Straumann/Etkon, Ivoclar-Vivadent, Sirona,

VITA, Wieland) das Abstrahlen mit einem feinkörnigen Strahlmittel (Al_2O_3 , 30–50 µm-Korn, 1,0–2,5 bar, 10–15 s Dauer). Da auch hier die Gefahr einer mechanischen Überbeanspruchung mit Schädigung des ZrO_2 -Kristallgitters nicht ausgeschlossen werden kann, raten andere Unternehmen vorsorglich vom Abstrahlen ab (Heraeus, KaVo, Nobel Biocare) und empfehlen stattdessen eine adhäsive Befestigung (Monomer-Phosphat) für den innigen Kontakt zum Restzahn. Lediglich bei klinisch kurzen Kronen mit geringer Retentionsfläche ist ein kurzzeitiges, schonendes Abstrahlen mit reduziertem Strahlendruck möglich. Um die Wirkung des Abstrahlens optisch kontrollieren zu können, eignet sich der Auftrag einer Deckfarbe (Eding-Stift); beim Abstrahlen erodiert die Farbe und zeigt progressiv die behandelte Fläche.

Wie Verblendfrakturen vermeiden?

Beim partiellen Abplatzen von Verblendkeramik auf ZrO_2 -Gerüsten handelt es sich um die Abschilferung der Keramik. Als Ursache für Chippings gelten misserfolgsanfällige Vorgehensweisen in Praxis und Labor – so z. B.:

- unterschiedliches Wärmeausdehnungsverhalten zwischen Gerüst- und Verblendkeramik (Werkstoffauswahl), besonders bei Verwendung von Gerüst- und Verblendmaterial verschiedener Hersteller (Empfehlung: „Im System bleiben“)
- zu dünne Wandstärke der Kronenkappe zusammen mit zu dicken Verblendschichten (mehr als 1,5 mm Schichtstärke ist abzulehnen)
- die Gestaltung der Kronenkappe folgt nicht der reduzierten, anatomischen Form mit Höckerunterstützung – Empfehlung: Gerüstdesign anatomoform, Verblendschicht reduzieren
- zu steil gewinkelte Koronarflächen der Kronenkappe, dadurch geringe Abstützung der Verblendung
- extensives Beschleifen des dichtgesinterten Gerüsts (Modellaufpassung) und des Innenlumens ohne Wasserkühlung – besonders mit grobkörnigen Diamantschleifern – oder mit ungeeigneten Trockenschleifkörpern
- Zugspannung in der Verblendschicht durch wechselnde, uneinheitliche Schichtstärken
- Keramikschulter am Kronenrand ohne Gerüstunterstützung
- zu schneller Temperaturanstieg beim Hochheizen zum Verblendungsbrand bzw. zu kurze Aufheizzeit, besonders bei dickwandigen, anatomen Gerüsten
- zu kurze Abkühlphase nach dem Sinterbrand der Verblendkeramik
- intraorales Einschleifen der Verblendung ohne Wasserkühlung, evtl. mit grobkörnigen Diamantschleifern, anschließend keine

Oberflächenpolitur oder keine Wiederholung des Glanzbrands

Folgende Empfehlungen für die Verwendung von ZrO_2 für Kronen und Brücken und zur Vermeidung von Verblendfrakturen sind von den Keramikerstellern erarbeitet worden:

- Als Design der Präparationsgrenze wird die ausgeprägte Hohlkehle zur Abstützung des Kronenrandes empfohlen. Eine Tangentialpräparation, die Zugspannungen auslöst, ist kontraindiziert.
- Das Gerüstdesign soll der anatomisch reduzierten Form der Krone folgen (verkleinerte anatomische Zahnform, evtl. Zurückschleifen mit Cutback-Technik) und hierbei die Höckerform unterstützen.
- Gerüste für Frontzahnkronen sollen eine Minimalwandstärke von 0,3–0,7 mm aufweisen.
- Seitenzahnkronen erfordern Wandstärken von mindestens 0,5–0,7 mm.
- Verbinderstellen im Frontzahn brauchen als Querschnittsfläche 7–9 mm², bei mehrgliedrigen Brücken 7–12 mm², abhängig von der Anzahl der Einzelglieder und Zwischenglieder.
- Verbinderstellen im Seitenzahn benötigen 8–12 mm², bei mehrgliedrigen Brücken 9–12 mm², abhängig von der Anzahl der Einzelglieder und Zwischenglieder. Besonders Zwischenglieder und Freianglieder erfordern 12 mm².
- Nachträgliches Einfärben der Gerüste mit Infiltrationslösung (dentinfarbig) und anschließende Trocknung und Sinterung; bessere Ergebnisse in der Farbhomogenität und Konsistenz bieten industriell voreingefärbte Blanks.
- Die Nachbearbeitung der Gerüstoberfläche im dicht gesinterten Zustand muss möglichst vermieden oder zumindest so schonend wie möglich und kleinflächig durchgeführt werden. Zur Nachbearbeitung wird die Laborturbine mit Wasserkühlung empfohlen. Diamantkorngröße < 30 µm und geringer Anpressdruck. Die Verwendung von zu groben Schleifkörpern (> 100 µm) wirkt sich negativ auf die Festigkeit aus. Bei der trockenen Bearbeitung muss ausdrücklich auf die Verarbeitungshinweise der Materialhersteller geachtet werden. Nicht alle Schleifkörper sind zum Trockenschleifen geeignet.
- Für eine eventuell geplante Wärmebehandlung des manuell nachbearbeiteten Gerüsts („Regenerationsbrand“) ist unbedingt die Empfehlung des jeweiligen ZrO_2 -Herstellers zu beachten.

- Die Reinigung der Gerüstoberfläche durch Abdampfen ist möglich, ebenso der Kroneninnenflächen.
- Für ein Abstrahlen des Kronenlumens (Klebefläche) mit Korund (Al_2O_3) muss die Verarbeitungsvorschrift des jeweiligen ZrO_2 -Herstellers beachtet werden. Generell wird als Korngröße 30–50 μm genannt. Strahldauer kurz, höchstens 10–15 s; Empfehlung: 30–50 μm -Korn, 1,0–2,5 bar. Vorsicht im Randbereich; Außenflächen werden nicht abgestrahlt.
- Auch bei adhäsiver Befestigung kann das Abstrahlen der Kroneninnenflächen sinnvoll sein (Al_2O_3 -Korn 30–50 μm , 1,0–2,5 bar, kurze Strahldauer). Bitte Herstellerempfehlung beachten.
- Die Kalibrierung des Hochtemperatur-Sinterofens muss in festen Intervallen vorgenommen werden, um exakte Brenntemperaturen auf Dauer zu gewährleisten.
- Die Konditionierung der ZrO_2 -Oberfläche durch Liner und Opaquermassen ist möglich, sofern der ZrO_2 -Hersteller dies ausdrücklich erwähnt.
- Die Gerüstsinterung (Aufheizphase, Brennführung, Haltezeiten, Abkühlphase) hat nach Vorgaben des jeweiligen Herstellers (ZrO_2 , Sinterofen) zu erfolgen.
- Grundsätzlich sollten intraoral keine umfangreichen Einschleifarbeiten durchgeführt werden.
- Intraorales Einschleifen erfolgt mit Feinkorndiamant unter Wasserkühlung.
- Wenn die Restauration probeweise eingesetzt wurde und Einschleifarbeiten erforderlich waren, ist eine sorgfältige Politur erforderlich, idealerweise auch die Erneuerung des Glanzbrands.

Um spätere Frakturen der Verblendschicht auf ZrO_2 -Gerüsten zu vermeiden, werden als zusätzliche Maßnahmen empfohlen:

- Beim Verblenden die Zurücknahme der Temperatur-Steigrate im Brennofen, besonders bei großen und dickwandigen Objekten. Ein schnelles Aufheizen und Abkühlen ist zu vermeiden (bitte Herstellervorschrift beachten).
- „Entspannungskühlen“ nach dem letzten Sinterbrand zum Abbau von Spannungen am Interface Gerüstkeramik/Verblendung.
- Polieren der Verblendung nach dem intraoralen Einschleifen, besser noch eine Wiederholung des Glanzbrandes.

Fazit

Verblendfrakturen bei Kronen und Brücken sind generell kein neues Problem; auch auf VMK-Restaurationen wurden über Jahrzehnte Chippings beobachtet. Mit der Verbreitung von ZrO_2 -Re-

konstruktionen traten Verblendfrakturen vermehrt auf. Dies wurde dadurch ausgelöst, dass die hohe Festigkeit des Gerüstwerkstoffs anfänglich für dünne Wandstärken genutzt wurde. Ferner waren die WAK-Werte der Verblendkeramiken nicht auf die WAK der ZrO_2 -Gerüste abgestimmt. Dick aufgetragene Verblendschichten und mangelnde Höckerunterstützung führten zu Zugspannungen in der Verblendstruktur – und somit zu einem erhöhten Frakturrisiko. Seit die vorstehend genannten Empfehlungen zur Bearbeitung von ZrO_2 und der adäquaten Verblendkeramik Eingang in die Praxis gefunden haben, sind Ereignisse mit Chippings auf einen deutlich niedrigen Wert abgesunken, der sich kaum von VMK-Arbeiten unterscheidet.

Interessenkonflikt

Kein Interessenkonflikt angegeben.

Literatur

- 1 Creugers NH, Kayser AF, van t Hof MA. A meta-analysis of durability data on conventional fixed bridges. *Community Dent Oral Epidemiol* 1994; 22: 448–452
- 2 Groten M. Prothetischer Lückenschluss mit viergliedrigen Zirkonoxidkeramikbrücken. *Klinischer Fallbericht über 3 Jahre*. *Quintessenz* 2007; 58: 1045–1053
- 3 Groten M, Pröbster L. Vollkeramische Restaurationssysteme für die Praxis. *Ästhet Zahnmed* 2006; 9: 8–15
- 4 Jenatschke RA, Rinke S. Clinical performance of all-ceramic cantilever fixed partial dentures. *Baseline Report*. *J Dent Res* 2003; 82: Abstract 08 43
- 5 Lauer HC. Vollkeramische Restauration in der Hand des Generalisten. *Zahnärztl Mitteil* 2003; 9: 40–45
- 6 Pospiech P, Tinschert J, Raigrodski A. Vollkeramik Kompendium. 3M Espe. 2005
- 7 Pospiech P, Kern M, Kunzelmann KH. Hat sich Vollkeramik bewährt? *ZWP* 2008; Spec 4
- 8 Sailer I, Fehér A, Filser F et al. Five-year clinical results of zirconia framework for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007; 20: 383–388
- 9 Tinschert J, Natt G, Mohrbotter N et al. Lifetime of alumina- and zirconia ceramics used for crown and bridge restorations. *J Biomed Mater Res Appl* 2007; 80B: 317–321
- 10 Tinschert J, Natt G, Körbe S et al. Bruchfestigkeit zirkonoxidbasierter Seitenzahnbrücken. – Eine vergleichende In-Vitro-Studie. *Quintessenz* 2006; 57: 867–876
- 11 Tinschert J, Natt G, Latzke P et al. Vollkeramische Brücken aus DC-Zirkon. – Ein klinisches Konzept mit Erfolg? *Dtsch Zahnärztl Z* 2005; 60: 435–445
- 12 Walton TR. An up to 15-year longitudinal study of 515 metal-ceramic FPDs. Part 1 Outcome. *Int J Prosthodont* 2002; 15: 439
- 13 Wolfart S, Harder S, Eschbach S et al. Four-year clinical results of fixed dental prostheses with zirconia substructures (Cercon); end abutments vs cantilever design. *Eur J Oral Sci* 2009; 117: 741–749

Korrespondenzadresse

PD Dr. Ulrich Lohbauer
 Universitätsklinikum Erlangen
 Zahnklinik 1 – Zahnerhaltung und Parodontologie
 Werkstoffkundliches Labor
 Glückstraße 11
 91054 Erlangen
 E-Mail: lohbauer@dent.uni-erlangen.de