

L. Pröbster<sup>1</sup>, M. Kern<sup>2</sup>

# ZrO<sub>2</sub>-Monolithen – ein Faszinosum? Der Trend zu vollanatomischen Oxidkeramik-Kronen

*ZrO<sub>2</sub> monoliths – a fascinating alternative?  
The trend towards fully anatomical oxide ceramic crowns*



L. Pröbster

**Einführung:** Kronen- und Brücken-Gerüste aus Zirkoniumdioxidkeramik (ZrO<sub>2</sub>) haben sich klinisch bewährt. Verblendfrakturen wurden jedoch beobachtet.

**Material und Methode:** Eine Alternative bieten Kronen und Brücken aus „Vollzirkon“, monolithisch und ohne Verblendung gefertigt. Die erzielbare Ästhetik begrenzt den Einsatz auf den Molarenbereich.

**Ergebnisse und Schlussfolgerung:** In-vitro-Tests belegen, dass eine professionelle Politur die Abrasion am Antagonisten gering hält. Klinische Studien mit Vollzirkon-Monolithen liegen noch nicht vor.

(Dtsch Zahnärztl Z 2012, 67: 777–782)

*Schlüsselwörter:* Zirkoniumdioxidkeramik, Verblendfrakturen, Monolithisch gefertigte Kronen und Brücken, Politur, Abrasion

**Introduction:** Crown and bridge frameworks of zirconium dioxide ceramic (ZrO<sub>2</sub>) have proven themselves clinically, but veneering fractures have sometimes been observed.

**Material and Method:** An alternative may be presented by crowns and bridges of “all zirconia”, manufactured monolithically and without veneering. The esthetics attainable limit their use to the molar region.

**Results and Conclusion:** In-vitro tests show that professional finishing and polishing keeps abrasion on the antagonist to a minimum. Clinical studies with all-zirconia monoliths are not yet available.

*Keywords:* Zirconium dioxide ceramic, veneering fractures, monolithically manufactured crowns and bridges, polishing, abrasion

<sup>1</sup> Praxis für Zahnmedizin, Aukammallee 39, 65191 Wiesbaden – und Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Osianderstrasse 2–8, 72076 Tübingen

<sup>2</sup> Schriftführung der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. (AG Keramik), Postfach 100 117, 76255 Ettlingen

**Peer-reviewed article:** eingereicht: 27.07.2012, revidierte Fassung akzeptiert: 03.08.2012

**DOI** 10.3238/dzz.2012.0777–0782

### Klinische Überlebensraten von Kronen und Brücken mit ZrO<sub>2</sub>-Gerüsten

Versorgung	Liegedauer [Jahre]	Überlebensrate [%]	Komplikation [%]	Observierte Einheiten	Autoren Publikationen
Brücke 3 gl. SZ	5	96,8		65	Eschbach, Kern
Brücke 3–5 gl.	3	100	4 Chipp.	65	Tinschert
Brücke 3–5 gl.	5	98,4	4 Chipp.	65	Tinschert
Brücke 3–5 gl.	10	67		57	Sax et al
Brücke 3 gl.	5	100		35	Pospiech
Brücke 3 gl.	3	100	9 Chipp.	21	Edelhoff
Brücken 3gl.	3	90,5		21	Beuer
Brücken 3–4 gl.	4	94	12 Chipp.	99	Rödiger
Brücken 3–4 gl.	4	96	13 Chipp.	24	Wolfart
Brücken 3–4gl., Cantilever	4	92		34	Wolfart
Brücke 4 gl.	3	100		22	Sturzenegger
Kronen, Brücken	3	98,5		68	Beuer
Brücken 3–6 gl.	3	90,5	10 Chipp.	21	Edelhoff
Brücken 4–7 gl.	2	96,6	3 Chipp.	30	Schmitter

**Tabelle 1** ZrO<sub>2</sub> Studien.

**Table 1** ZrO<sub>2</sub> studies.

(Tab. 1: AG Keramik. Aus: „Vollkeramik auf einen Blick“)

## Einleitung

Die Einführung computergestützter Verfahren mit zahn technischer Konstruktions-Software und NC-gesteuerten Fräsautomaten hat die Verarbeitung von polykristallinen Oxidkeramiken unter Verwendung industriell gefertigter, teils gesinterter Keramikblocks möglich gemacht. In den 70er-Jahren des vorigen Jahrhunderts von Garvie [2, 3, 10] in Großbritannien entwickelt, erwies sich besonders das mit Yttrium stabilisierte Zirkoniumdioxid (ZrO<sub>2</sub>) als geeigneter Gerüstwerkstoff für Kronen und Brücken im kaulasttragenden Molarenbereich. Die weiß-opake Keramikstruktur macht trotz der Option, die Dentinfarbe und damit die Farbtiefe der Zahnhartsubstanz durch Kolorieren des Gerüsts zu imitieren, eine aufbrennkeramische Verblendung für eine perfekte Ästhetik erforderlich.

Gegenüber der Metallkeramik (VMK) zeichnet sich ZrO<sub>2</sub> dadurch aus, dass die weiß-opake Eigenfarbe prinzipiell dünnere Verblendungen aus Feldspatkeramik ermöglicht, da im Gegensatz zur Metallkeramik kein Opaker benötigt wird, um das Metallgerüst zu maskieren. Zusammen mit der hohen Biegefestigkeit des Gerüstwerkstoffs von 1.000 bis 1.400 Megapascal (MPa) sind dadurch auch dünne Wandstärken und somit substanzschonende Präparationen möglich. Für die Haftung der Verblendung auf dem ZrO<sub>2</sub>-Gerüst ist im Unterschied zu VMK keine Haftoxid-schicht notwendig, deren potenziell toxisch wirkenden Ionen zu gingivalen Entzündungen führen können. Keramiken sind chemisch inert, im Mundmilieu unlöslich, enthalten keine Allergene und sind somit biologisch sehr verträglich [5, 7, 8]. ZrO<sub>2</sub> ermöglicht zusammen mit einer aufgebraunten Schul-

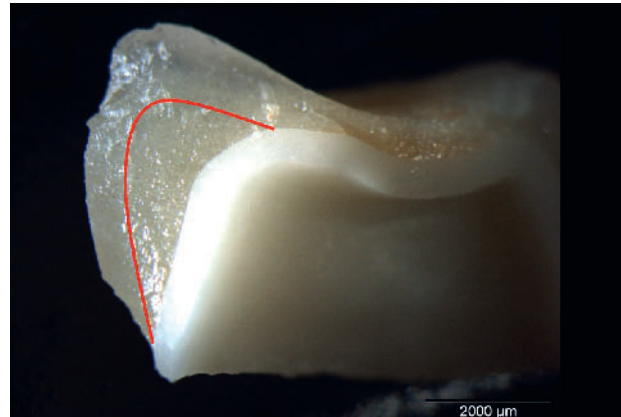
ter aus Feldspatkeramik aufgrund der optischen Eigenschaften und der Farb-adaptation isogingivale oder supragingivale Kronenränder, ohne dass der Randverlauf vom unbewaffneten Auge erkannt wird. Subgingivale Kronenränder bieten auch bei einer Gingivarecession kein ästhetisches Problem wie vergleichsweise die „Trauerränder“ bei freiliegenden Kronenrändern von Metallkeramikronen. Mit dieser Qualifikation haben sich ZrO<sub>2</sub>-getragene Rekonstruktionen bei geeigneten Indikationen zu bewährten Therapielösungen entwickelt. Universitär geführte, klinische Langzeitstudien mit Kronen und Brücken überblicken literaturbelegt in zwischen Zeiträume von bis zu 10 Jahren (Tab. 1).

Auffallend ist, dass Gerüstfrakturen von ZrO<sub>2</sub>-Restaurationen kaum beobachtet werden. Die Überlebenswahrscheinlichkeit liegt im Korridor von 90



**Abbildung 1** Dünnwandige, formreduzierte Kronengerüste bieten keine Höckerunterstützung.

**Figure 1** Thin-walled, minimal crown frameworks offer no cusp support. (Abb. 1: D. Edelhoft)



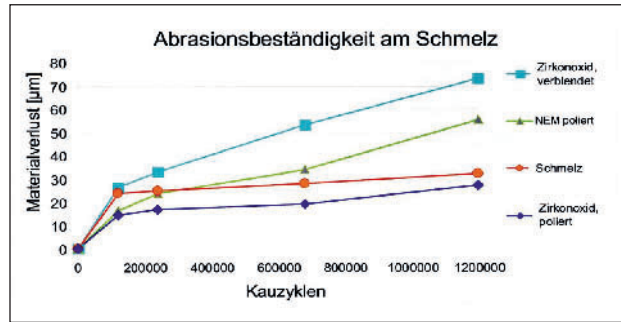
**Abbildung 2** Idealform der Höckerunterstützung schützt vor Verblendfrakturen.

**Figure 2** The ideal form of cusp support protects against veneering fractures. (Abb. 2: SS Scherrer)



**Abbildung 3** Keramikugellager – auf Verschleißfreiheit angelegtes tribologisches System.

**Figure 3** Ceramic bearings – a tribological system designed to be wear-free. (Abb. 3: AG Keramik)



**Abbildung 4** Abrasionsverhalten verschiedener Werkstoffe am Schmelz.

**Figure 4** Abrasions behavior of different materials on enamel. (Abb. 4: B. Stawarczyk et al.)

bis 100 % (nach Kaplan-Meier) und damit auf dem Niveau, das auch metallgetragenen Rekonstruktionen zugeschrieben wird [23]. Dadurch hat sich Zirkonoxidkeramik zu einem akzeptierten Werkstoff für festsitzenden Zahnersatz in der niedergelassenen Praxis entwickelt [22]. Es fällt in den Studien aber auf, dass die manuell geschichteten Verblendungen auf ZrO<sub>2</sub>-Gerüsten zu Abplatzungen (Chipping) neigen, zumindest eingetreten in der Frühphase des klinischen Einsatzes von ZrO<sub>2</sub> [16, 17]. Grund für die Verblendfrakturen waren anfänglich sicherlich die zwischen Gerüst- und Verblendwerkstoff unzureichend abgestimmten Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK). Ferner hatten sehr dünne Wandstärken dazu geführt (Abb. 1), dass die Verblendschichten 2 mm und mehr mit wechselnden, Zugspannung auslösenden

Schichtstärken aufgetragen wurden [11]. Zwischenzeitlich wurde erkannt, dass eine höckerunterstützende Gerüstgestaltung (Abb. 2), der Verzicht auf mesiale und distale Okklusionskontakte [18], Verblendstärken bis maximal 1,5 mm und eine Verlängerung der Abkühlungsphase nach jedem Brand zur Vermeidung von Strukturspannungen das Chipping-Risiko wesentlich reduzieren. Wichtig erscheint auch in diesem Zusammenhang, dass das okklusale Funktionskonzept den Bedingungen der Keramik angepasst und eine suffiziente Front-Eckzahn-Führung etabliert wird, um Schleifkontakte bei exzentrischen Unterkieferbewegungen zu vermeiden.

Jüngere Studien zeigen, dass unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen die Verblendfrakturrate ZrO<sub>2</sub>-basierter Kronen und Brücken deutlich gesunken ist und ein Niveau er-

reicht hat, das auch den Zwischenfällen von VMK-Versorgungen entspricht [13]. Lediglich implantatgetragene Verblendkronen auf ZrO<sub>2</sub>-Gerüsten haben ein höheres Chipping-Risiko [19]. Die fehlende Eigenbeweglichkeit der Implantate nach ossärer Einheilung sowie fehlende Propriozeptoren verursachen eine Verblendfrakturrate, die signifikant über jener von Kronen auf natürlichen Zähnen liegt [4, 9].

### Ist verblendfrei die Lösung?

Ist es die Sorge vor Verblendfrakturen, der Einsatz einer besonders substanzschonenden Präparation durch den Verzicht für die raumverzehrende Verblendung oder die Absicht, das Weglassen der Verblendung auf ZrO<sub>2</sub> als kalkulatorisches Einsparpotenzial zu nutzen? Aus



**Abbildung 5** Verblendfreie Krone aus „Voll-Zirkon“, durch Bemalung individualisiert.

**Figure 5** Veneer-free crown of „all-zirconia“, individualized through staining.



**Abbildung 6** Monolithische ZrO<sub>2</sub>-Krone, regio 36, nach der Politur.

**Figure 6** Monolithic ZrO<sub>2</sub> crown in region 36, after polishing.



**Abbildung 7** Vollzirkon-Brücke bei der Modell-Aufpassung.

**Figure 7** All-zirconia bridge during model try-on.



**Abbildung 8** Laborseitig professionell poliert.

**Figure 8** Professionally polished in the lab.

den USA kommend, hat auch in Europa der Trend zu monolithischen, vollanatomisch geformten ZrO<sub>2</sub>-Kronen eingesetzt, die keine Verblendung haben. Dafür müssen jedoch einige Parameter werkstofflicher und klinischer Art verändert werden, um ZrO<sub>2</sub> für monolithische Kronen zu qualifizieren. Dies betrifft die Eigenfarbe und Opazität, die Oberflächenbeschaffenheit der Restauration sowie die Kontaktpunktdurchdringung zum Antagonisten.

Um die Opazität zugunsten einer Semi-Transparenz zu vermindern, wurde der Anteil von Aluminiumoxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) im ZrO<sub>2</sub> reduziert. Messungen mit dem Spektrofotometer an 0,6 mm dicken Proben haben gezeigt, dass die Lichttransmission gegenüber dem konventionellen ZrO<sub>2</sub> mit der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Absenkung verbessert werden konnte [15]. Die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Dotierung ist prinzipiell für die

Stabilisierung der Keramikstruktur gegen Feuchtigkeit (Mundspeichel) verantwortlich. Demzufolge kann dieser Anteil nicht unbegrenzt gesenkt werden, ohne die klinische Haltbarkeit zu riskieren. Die weiße Eigenfarbe des Werkstoffs kann dadurch an die Zahnfarbe angenähert werden, indem industriell bereits eingefärbte Rohlinge in Anlehnung an bekannte Farbskalen Verwendung finden. Alternativ können die Gerüste im Grünzustand nach dem Fräsen mit Färbelösungen im Tauchverfahren eingefärbt und dann gesintert werden. Bisher limitiert das farbliche Ergebnis den Einsatz der monolithischen ZrO<sub>2</sub>-Krone auf den Seitenzahnbereich. Durch die Sinterung wird zwar eine hohe Biegebruchfestigkeit (1.200 bis 1.400 MPa) sowie eine harte Oberfläche erreicht, aber die beim Fräsen entstandenen Werkzeugspuren bleiben jedoch

sichtbar. Der Abtrag dieser Rauigkeit erfordert eine professionelle Politur, um eine glatte, hochglänzende Oberfläche zu erzielen. In der industriellen Technik werden beispielsweise Kugellager mit Zirkonoxid-Käfig oder -Kugeln eingesetzt, die besonders verschleißfest, widerstandsfähig und leichtlaufend sind (Abb. 3).

Es stellt sich jedoch die Frage, wie der Antagonist auf die hochfeste ZrO<sub>2</sub>-Kronenoberfläche reagiert. Hierfür liegen bisher nur In-vitro-Studien aus Kausimulationen vor – so z. B. von den Universitäten Birmingham, Indianapolis, Memphis, Regensburg, Tübingen und Zürich. In den Studien wurden monolithische ZrO<sub>2</sub>-Kronen gegen Schmelz, Lithiumdisilikat und Feldspat-Verblendungen (VMK) geprüft. Die Resultate zeigten, dass nicht die Härte des Werkstoffs, sondern die Oberflächen-



**Abbildung 9** Nach dem intraoralen Einschleifen der Kontakte wurde die Kaufläche nochmals mit Diamantpaste poliert.

**Figure 9** After intraoral grinding-in of contacts, the occlusal surface was again polished with diamond paste.



**Abbildung 10** Die Ästhetik des Vollzirkons reduziert die Anwendung auf den Molarenbereich.

**Figure 10** The esthetics of all-zirconia restricts its use to the molar region. (Abb. 5-10: L. Pröbster)

rauigkeit in der Verbindung mit der Härte einen schädigenden Einfluss auf seinen tribologischen Partner hat [12]. Dies erfordert, dass die Oberfläche der „Vollzirkon-Krone“ professionell poliert werden muss, um die verbliebene Rauigkeit des Schleifprozesses zu entfernen und eine hochglänzende Oberfläche zu erzielen.

### Die Oberfläche entscheidet

Eine Kausimulation von Starwarczyk et al. in Zürich zeigte, dass Zahnschmelz und poliertes ZrO<sub>2</sub> nach 1,2 Millionen Kauzyklen mit Temperaturwechseln ein ähnliches Abrasionsverhalten zeigen (Abb. 4). Stärkere Abrasionen zeigten Feldspat-Verblendungen und polierte edelmetallfreie Legierungen [20, 21]. Neueste Ergebnisse aus In-vitro-Testungen – auf dem AADR-Kongress 2012 in den USA vorgetragen – ergaben, dass unter der Voraussetzung einer professionellen Politur „vollanatomisch geformte, verblendfreie ZrO<sub>2</sub>-Kronen und -Brücken für Zahnersatz geeignet sind“ [14, 15]. Eine Studie von Janyavula et al. mit gealtertem ZrO<sub>2</sub> bestätigte dieses Ergebnis [6]. Die Bedeutung der Politur auf monolithischem ZrO<sub>2</sub> wurde auch von Clark et al. in-vitro ausgetestet [1], ebenso der Einfluss der Glasur, die jedoch nur eine kurzfristige Wirkung zeigt und den Abrasionskräften frühzeitig zum Opfer fällt.

Die Herstellung glatter, hochglänzender ZrO<sub>2</sub>-Oberflächen ist laborseitig

sicherlich zu gewährleisten. Sollte sich jedoch bei der Eingliederung die Notwendigkeit des Einschleifens zeigen, wird dies zu einem möglichen Problem. Selbst feinstkörnige Diamantschleifer und diamantkorngefüllte Polierer hinterlassen eine zu hohe Rauigkeit. Dadurch steigt die Abrasivität der Krone erheblich an und kann Schäden am Antagonisten verursachen. Deshalb ist nach okklusalen Schleifkorrekturen nochmals eine sorgfältige Politur notwendig. Diverse Hersteller bieten spezielle Poliersets für ZrO<sub>2</sub>-Keramik an. Aus praktischer Erfahrung hat sich folgendes Vorgehen bewährt: Einschleifen mit Superfeinkorndiamanten (gelber Ring), um die initiale Rautiefe gering zu halten, Vorpolitur mit diamantkorngefüllten Polierern und Hochglanzpolitur mit Diamantpaste (1 µm Korngröße) auf einer Prophylbürste. Auf dem AADR-Kongress wurde von Klinikern auch empfohlen, die Oberfläche der Okklusalkontakte zu reduzieren.

Wenn nun das monolithische ZrO<sub>2</sub> verschleißarm ist und nicht abradert, stellt sich die Frage nach dem Verhalten der Nachbarzähne, die aus natürlicher Zahnhartsubstanz oder weniger abrasionsresistenten Werkstoffen bestehen und der natürlichen Abrasion unterliegen. Werden langfristig Höhendifferenzen und Störkontakte entstehen? Es gibt Hoffnungen, dass sich ZrO<sub>2</sub>-Kronen okklusal nicht anders verhalten als VMK-Kronen. Klinische Studien zum Langzeitverhalten monolithischer

ZrO<sub>2</sub>-Kronen und -Brücken liegen allerdings noch nicht vor. Deshalb sollten vollanatomische ZrO<sub>2</sub>-Restaurationen 1- bis 2-mal jährlich nachkontrolliert werden.

Ist die Vollzirkon-Krone für Knirscher geeignet? Diese Frage ist noch nicht geklärt. Die hohe Biegebruchfestigkeit des Werkstoffs spricht für die Anwendung bei Bruxismus, obwohl bei craniomandibulären Dysfunktionen punktuell extreme Kräfte auftreten können, ohne dass der Patient sich dessen bewusst ist.

Aufgrund der Materialeigenschaften der ZrO<sub>2</sub>-Keramik und der nicht vorhandenen Abrasion findet keine biomechanische Adaption im Zusammenspiel mit einem abrasionsfähigen Antagonisten statt, so dass von nicht voll exakt okklusal adjustierten Vollzirkon-Restaurationen Parafunktionen ausgelöst werden können.

Bedingt durch die hohe Oberflächenhärte werden auftretende Kräfte, Parafunktionen oder vertikale und exzentrische Belastungen ungepuffert in das stomatognathe System geleitet. Ob das Auswirkungen auf das Kiefergelenk, auf das kommunizierende Gewebe oder auf Muskelgruppen hat, ist bisher ungeklärt. Aus Sicherheitsgründen wird in der Praxis eine Knirscherschiene als präventive Maßnahme für die Nacht verordnet.

Ferner erfordert das Einfärben von ZrO<sub>2</sub>, um es exakt auf die Zahnfarbe der Nachbarzähne zu trimmen, praktische Erfahrungen. Das Tauchfärben mit kolo-

rierenden Oxiden erfordert ca. 10–20 Minuten, z.B. für die Farben A1, A2, A3. Eine Verlängerung der Tauchzeit verursacht dunklere Farben (Gebrauchsanweisungen weisen nicht darauf hin). Zur Alterungsbeständigkeit der Tauchfärbung liegen noch keine Daten vor. Das Färbeliquid dringt nur mit geringer Tiefe in die ZrO<sub>2</sub>-Oberfläche ein. Dies ist für das intraorale Einschleifen von Bedeutung, weil durch den Keramikabtrag „Hellstellen“ auftreten können, d.h. dass das weiß-opake Material sichtbar werden kann.

### Noch keine Regelversorgung

Abschließend ist festzuhalten, dass monolithische ZrO<sub>2</sub>-Kronen und -Brücken sich aus ästhetischen Gründen bisher nur für den weniger einsehbaren Molarenbereich eignen (Abb. 5–10). Es fehlt

die Fluoreszenz, die Lichtdurchlässigkeit der Glaskeramik und der Chamäleon-Effekt. Eine Semi-Transparenz wird mit der Absenkung des Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Anteils erreicht; das könnte die klinische Haltbarkeit auf Dauer beeinflussen. Monolithische ZrO<sub>2</sub>-Restaurationen stellen einen Ersatz für Vollgusskronen und -brücken dar und haben im Vergleich zu diesen einen ästhetischen Vorteil. Die okklusale Adjustierung muss sehr sorgfältig vorgenommen werden, damit keine Suprakontakte als Auslöser für Parafunktionen wirksam werden. Für die Anwendung vollanatomischer ZrO<sub>2</sub>-Kronen auf Implantaten liegen noch keine klinischen Daten vor. Verblendfrakturen sind zwar ausgeschlossen; wegen der fehlenden Propriozeption der Implantate und deren starrer Verankerung im Knochen kann andererseits das Schadensrisiko, z. B. für die Verschraubung, für den Implantatals, für Antagonisten, ansteigen.

**Interessenkonflikt:** Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

#### Korrespondenzadressen

Manfred Kern  
Schriftführung der Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. (AG Keramik)  
E-Mail: info@ag-keramik.de

Prof. Dr. Lothar Pröbster  
Praxis für Zahnmedizin  
Aukammallee 39  
65191 Wiesbaden  
www.zahnarzt-wiesbaden.net  
und  
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik  
(Ärztl. Dir. Prof. Dr. H. Weber)  
Oslanderstr. 2-8  
72076 Tübingen

### Literatur

- Clark S, Simon J, Darnell L: Effects of polishing on zirconia crowns. AADR poster, March 22, 2012
- Garvie RC, Hannik RH, Pascoe RT: Ceramic steel? Nature 258, 703–704 (1975)
- Garvie RC, Nicholson PS: Phase analysis in zirconia systems. J Am Ceram Soc 55, 303–305 (1972)
- Harder S, Kern M: Survival and complications of computer aided-designed and computer aided-manufacturing vs. conventionally fabricated implant-supported reconstructions: a systematic review. Clin Oral Implants Res 20(Suppl 4), 48–54 (2009)
- Hempel U, Hefti T, Kalbacova M, Wolf-Brandstetter C, Dieter P, Schlottig F: Response of osteoblast-like SAOS-2 cells to zirconia ceramics with different surface topographies. Clin Oral Implants Res 21,174–181 (2010)
- Janyavula S, Lawson N, Cakir D, Beck P, Ramp L, Burgess J: Wear of enal opping aged zirconia. AADR poster, March 22, 2012
- Koutayas SO, Vagkopoulou T, Pelekanos S, Koidis P, Strub JR: Zirconia in dentistry: part 2. Evidence-based clinical breakthrough. Eur J Esthet Dent 4, 348–380 (2009)
- Maccauro G, Bianchino G, Sangiorgi S : Development of a new zirconia-toughened alumina: promising mechanical properties and absence of in vitro carcinogenicity. Int J Immunopathol Pharmacol 22,773–779 (2009)
- Nothdurft FP, Merker S, Pospiech PR: Fracture behavior of implant-implant as implant-tooth supported all-ceramic fixed dental prostheses utilising zirconium dioxide implant abutments. Clin Oral Investig 15, 89–97 (2011)
- Pascoe RT, Garvie RC: In: Fulrath RM, Pask JA, editors: Ceramic microstructures, Boulder, Co. Westview Press, 774–785 (1977)
- Pospiech P: Chipping – systemimmanente oder verarbeitungsbedingte Probleme? Quintessenz 61, 173–181 (2010)
- Pospiech P: Klinische Bewährung von Zirkoniumdioxid – ist die Praxisreife erlangt? Quintessenz Zahntechnik 37, 162–164 (2011)
- Pospiech P, Kunzelmann KH, Kern M: Hat sich Vollkeramik bewährt? ZWP Oemus 4, 16–20 (2008)
- Preis V, Behr M, Handel G, Schneider-Feyrer S, Hahnel S, Rosentritt M: Wear performance of dental ceramics after grinding and polishing treatments. J Mech Behav Biomed Mater 10, 13–22 (2012)
- Rosentritt M, Preis V, Behr M, Hahnel S, Handel G, Kolbeck G: Two-body wear of dental porcelain and substructure oxide ceramics. Clin Oral Incestig 8 (2011)
- Sailer I, Pjetursson, BE, Zwahlen M, Hämmerle CHF: A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: fixed dental prostheses. Clin Oral Impl Res 18(Suppl. 3), 86–96 (2007)
- Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hämmerle CH: Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. Int J Prosthodont 20, 383–388 (2007)
- Scherrer SS, Cattani-Lorente M, Vittecoq E, de Mestral F, Griggs JA, Wiskott HW: Fatigue behaviour in water of Y-TZP zirconia ceramics after abrasion with 30 micron silica-coated alumina particles. Dent Mater (2010) (accepted, epub)
- Schwarz S, Schröder C, Bömicke W, Hassel AJ, Rammelsberg P: Zum Chippingverhalten zirkoniumdioxid-basierter und metallkeramischer Einzelkronen und Kronenblöcke auf Implantaten – eine retrospektive Untersuchung. Z Zahnärztl Implantol 2, 138–147 (2012)
- Stawarczyk B, Özcan M: Abrasionsuntersuchungen mit verschiedenen Dentalwerkstoffen. Dental Materials Unit, Universität Zürich (2010). Publikation in Vorbereitung
- Stawarczyk B, Özcan M, Schmutz F, Trottmann A, Roos M, Hämmerle CH: Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists. Acta Odontol Scand, Feb 27 (2012) Epub ahead of print
- Tinschert J, Schulze KA, Natt G, Latzke P, Heussen N, Spiekermann H: Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures. Int J Prosthodont 21, 217–222 (2008)
- Walton TR: An up to 15-year longitudinal study of 515 metal-ceramic FPDs. Int J Prosthodont 15, 439–445 (2002)