

# Ist Zirkoniumdioxid gleich Zirkoniumdioxid?\*

## Are zirconias of today different?



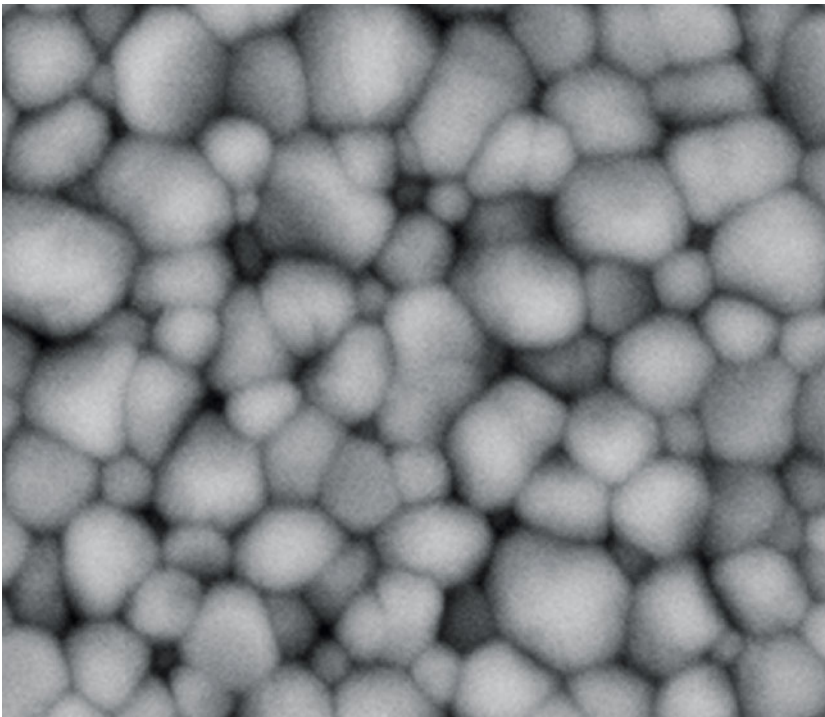
### Hintergrund

Als Vorteile der keramischen Werkstoffe gelten generell ihr zahnähnliches transluzentes Aussehen, ihre gute biologische Verträglichkeit im direkten Kontakt mit der Gingiva und ein dem Zahnschmelz vergleichbares Verschleißverhalten. Diese Einschätzungen erfüllen in der Regel Lithiumsilikatkeramiken, welche für Veneers, Table-Tops, Einzelkronen und kleine Frontzahnbrücken indi-

ziert sind. Möchten wir das Indikationsspektrum erweitern und größere Restaurationen im Seitenzahngebiet eingliedern, so ist dieses Vorhaben nur mit Zirkoniumdioxidkeramik umsetzbar [7]. Die höhere Bruchfestigkeit des Zirkoniumdioxids wird aber durch den Nachteil eines opaken, wenig zahnähnlichen Aussehens erkauft. Diese Tatsache störte anfangs nicht, da das opake Gerüst mit einer Feldspatkeramik verblendet wurde.

Seitdem es technisch im CAD/CAM-Verfahren möglich geworden ist, nicht nur Gerüste aus Zirkoniumdioxid, sondern auch komplette Restaurationen mit Kauflächen herzustellen, ist die hohe Opazität des Zirkoniumdioxids aus klinischer Sicht unerwünscht. Die Entwicklungen der letzten Jahre zielten darauf ab, Zirkoniumdioxide zu entwickeln, welche die oben genannten Eigenschaften der Silikatkeramiken, Transluzenz, Biokompatibilität und zahnähnliches Verschleißverhalten mit höherer Bruchfestigkeit und der Möglichkeit einer Verarbeitung im CAD/CAM-Verfahren vereinen. Diese Bemühungen haben zur Entwicklung unterschiedlicher Zirkoniumdioxide geführt.

Durch Dotieren des Zirkoniumdioxides mit unterschiedlichen Mengen von Yttrium und/oder Aluminium kann die Kristallstruktur des Zirkoniumdioxides (Abb. 1, Abb. 2) beeinflusst werden [13]. Das Zirkoniumdioxid liegt temperaturabhängig in kubischer (> 2370°C), tetragonaler (> 1170°C) oder monokliner (Raumtemperatur) Phase vor, wobei Phasenübergänge mit einer Volumenänderung einhergehen. Beim opaken „konventionellem Zirkoniumdioxid“ beispielsweise gelingt eine Stabilisierung tetragonaler Anteile bei Raumtemperatur durch die Dotierung mit 3 mol% Yttriumoxid (3Y-TZP, 3 mol% yttria stabilized tetragonal zirconia polycrystal). Dies ermöglicht eine



**Abbildung 1** Rasterelektronische Aufnahme einer 3Y-Zirkoniumdioxid-Oberfläche (Vergrößerung: 10.000-fach)

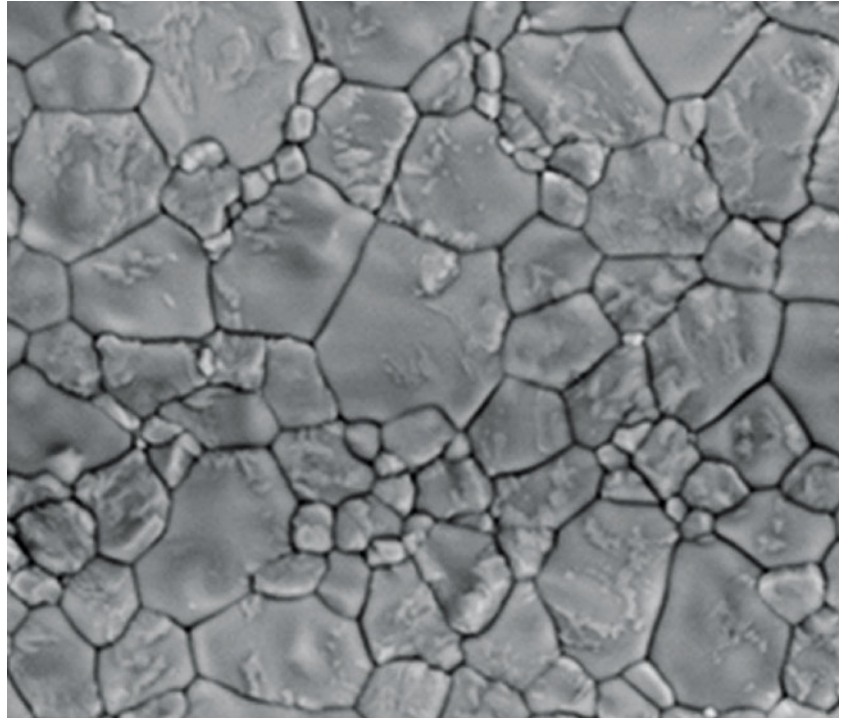
\*Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Behr M, Füllerer J, Strasser T, Preis V, Zacher J: Are zirconias of today different? Dtsch Zahnärztl Z Int 2020; 2: 114–118  
 Zitierweise: Behr M, Füllerer J, Strasser T, Preis V, Zacher J: Ist Zirkoniumdioxid gleich Zirkoniumdioxid? Dtsch Zahnärztl Z 2020; 75: 265–269  
 DOI.org/10.3238/dzz.2020.0265-0269

spontane Phasenumwandlung zur monoklinen Kristallstruktur als Reaktion auf mechanische Belastung. Die hierbei auftretende Volumenzunahme kann beispielsweise der Ausbreitung von Rissen entgegenwirken.

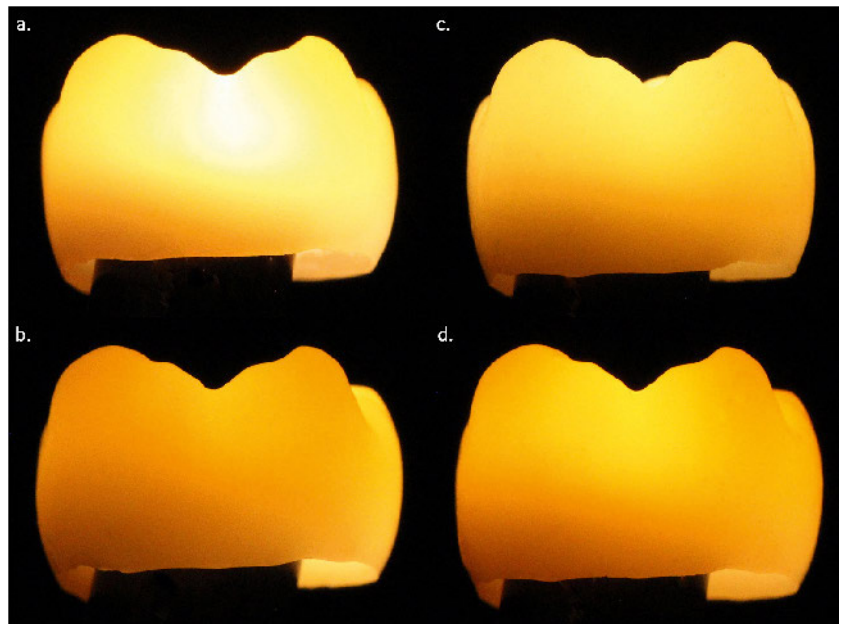
Wir unterscheiden heutzutage mehrere Generationen oder Klassen von Zirkoniumdioxid [13]:

- Generation I 3Y-TZP-A →  
Biegefestigkeit > 1000 MPa →  
opak
- Generation II 3Y-TZP-LA →  
Biegefestigkeit 900 MPa 5 % →  
transluzenter
- Generation III 5Y-TZP →  
Biegefestigkeit 600 MPa 15 % →  
transluzenter
- Generation IV 4Y-TZP →  
Biegefestigkeit 750 MPa 10 % →  
transluzenter
- Generation V 3Y/4Y/5Y-TZP →  
Biegefestigkeit 550–1200 MPa  
1–15 % → transluzenter  
(Multilayer mit Transluzenzgradienten)

In einem ersten Schritt 3Y-TZP transluzenter zu gestalten, wurde in der Generation II der Aluminiumanteil reduziert. Deutlich verbesserte Transluzenz zeigen aber erst die Zirkoniumdioxide der III.- und IV. Generation. Sie erkaufen jedoch ihre höhere Transluzenz mit geringeren Festigkeiten, welche sich auf dem Niveau von Lithiumdisilikatkeramik bewegen. Die neueste Entwicklung bei Zirkoniumdioxiden sind „Multilayer“, welche in ein und demselben Fräsblock, in teilweise mehreren Lagen, Bereiche mit „hoch“ transluzenten und opaken Zirkoniumdioxiden miteinander verbinden (Abb. 3). Durch geschicktes Ausrichten der digital geplanten Restauration im Fräsblock der Fräsmaschine können auch größere Brücken im Seitenzahnbereich mit natürlicherem Farbverlauf hergestellt werden. Zu beachten ist aber: Die transluzenteren Bereiche der Fräsblöcke weisen eine geringere Festigkeit als die opakeren Bereiche auf. Es kann zu klinischen Misserfolgen führen, wenn wir fälschlicherweise unsere Versorgung so planen und in der Fräsmaschine einrichten, als ob in allen Bereichen eines gemischten Blanks die gleichen Biegefestigkeiten vorliegen würden. Darüber hinaus zeigte sich in ersten Festigkeitsunter-



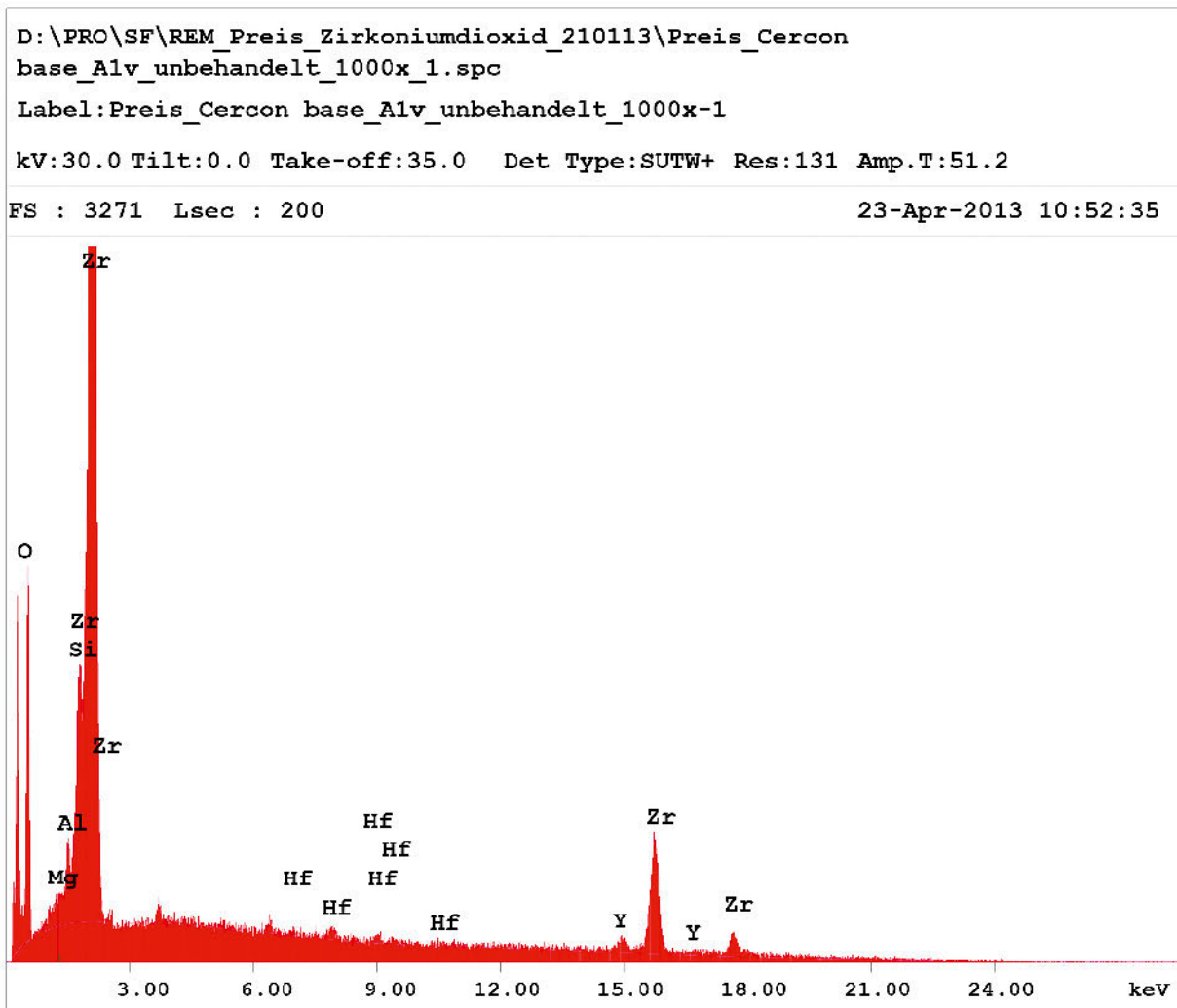
**Abbildung 2** Rasterelektronische Aufnahme einer 5Y-Zirkoniumdioxid-Oberfläche (Vergrößerung: 10.000-fach). Zu beachten ist die im Vergleich zu 3Y-Zirkoniumdioxid (Abb. 1) größere Korngröße.



**Abbildung 3a–d** Darstellung der unterschiedlichen Transluzenz verschiedener keramischer Werkstoffe. Am Beispiel einer Molarenkrone 46. Ansicht von lingual, von Lichtleiter durchstrahlt. Alle Kronen wurden aus verschiedenen Materialien (a–d), jedoch mithilfe des gleichen digitalen Datensatzes im CAD/CAM-Verfahren hergestellt und haben daher identische Wandstärken. (a) Ivoclar emax CAD (Ivoclar-Vivadent, Schaan, FL); (b) Pritidenta multidisc ZrO<sub>2</sub> (Pritidenta, Leinfelden, D); (c) Ivoclar emax ZIRCAD Prime (obere Position in Multilayer Ronde ausgewählt) (Ivoclar-Vivadent, Schaan, FL); (d) Ivoclar emax ZIRCAD Prime (untere Position in Multilayer Ronde ausgewählt) (Ivoclar-Vivadent, Schaan, FL)

suchungen verschiedener Multilayer, dass die Festigkeit in der Übergangsschicht (Interphase) ein Schwach-

punkt sein könnte [5]. Die Festigkeit dieser „Übergangsschicht“ war rund 30 % geringer als die Festigkeiten der



**EDAX ZAF Quantification (Standardless)**  
Element Normalized  
SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	30.17	68.14	0.0445	1.1296	0.1305	1.0004
MgK	0.73	1.08	0.0026	1.0881	0.3218	1.0093
AlK	1.40	1.87	0.0065	1.0570	0.4343	1.0171
SiK	2.65	3.41	0.0156	1.0886	0.5248	1.0285
HfL	1.69	0.34	0.0148	0.8272	1.0592	1.0000
Y K	6.09	2.48	0.0551	0.9014	1.0030	1.0000
ZrK	57.26	22.68	0.5156	0.8973	1.0035	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
O K	45.34	2.81	1.11	16.11
MgK	5.28	6.50	5.72	0.81
AlK	14.03	6.93	2.66	2.03
SiK	32.77	8.12	1.51	4.04
HfL	4.21	8.17	7.61	0.52
Y K	6.23	4.13	4.32	1.51
ZrK	46.13	3.63	1.12	12.69

(Abb. 1-4: M. Behr)

**Abbildung 4** Plot einer EDX-Analyse (energie-dispersive Röntgenspektroskopie) einer 3Y-Zirkoniumdioxid-Oberfläche. Der Plot zeigt die in der Probe vorgefundenen chemischen Elemente: Zr, Al, Mg, Y, Hf, O, Si.

„reinen“ 3Y-TZP- oder 5Y-TZP-Zirkoniumdioxidschichten, sodass beispielsweise Kaizer die Ansicht vertritt, dass die klinische Indikation Multilayer nicht erweitert, sondern eher eingeschränkt werden müsste [5].

Aufgrund ihrer Opazität finden Zirkoniumdioxide der Generation I vornehmlich als Gerüstmaterial Verwendung. Eine natürlich aussehende zahnfarbene Versorgung ist durch Verblenden mit einer Feldspatkeramik möglich. Die immer wieder auftretenden Probleme mit Chipping – insbesondere in Kombination mit Implantatversorgungen [10] – können durch standardisierte und optimierte Verarbeitungsprotokolle reduziert werden [14]. Es ist zu beachten, dass – im Gegensatz zu Metallkeramik – der Verarbeitungsspielraum von Zirkoniumdioxid erheblich kleiner ist. Während beispielsweise bei Metallkeramik lokale Temperaturerhöhungen, wie sie beim Beschleifen auftreten, durch die Metallgitterstruktur relativ gut verteilt werden, führt die Gitterstruktur der Keramik zu hohen Temperaturgradienten. Durch diese großen Temperaturunterschiede in dicht auf einander liegenden Kristallstrukturen entstehen initiale Risse, welche sich in der Gebrauchsperiode fortpflanzen und zu vorzeitigem Versagen, wie Chipping, beitragen können.

Neben den klinischen Problemen mit Chipping forcierten auch die neuen digitalen Gestaltungsmöglichkeiten, Zähne direkt mit Kauflächen funktionell zu gestalten, den Wunsch, mit transluzenteren Zirkoniumdioxiden ästhetisch ansprechende Versorgungen mit einer einzigen Werkstoffklasse im CAD/CAM-Verfahren bearbeiten zu können. Diesem Wunsch entsprachen Zirkoniumdioxide mit einer Dotierung von 5 mol% Yttriumoxid, kurz als „5Y-TZP“ bezeichnet. Ihre Transluzenz erreicht teilweise die von Lithiumdisilikatkeramik [13]. Diesem Vorteil der erhöhten Transluzenz steht aber der Nachteil einer verringerten Biegefestigkeit des Zirkoniumdioxids, und dadurch ein reduziertes klinisches Indikationsspektrum, entgegen. Das Indikationsspektrum von 5Y-TZP-Zirkoniumdioxid unterscheidet

sich kaum von dem von Lithiumdisilikatkeramik [14]. Es umfasst neben Einzelkronen im Front- und Seitenzahngebiet nur dreigliedrige Brücken im Frontzahn- und Prämolarenbereich. Molarenbrücken und der Ersatz von mehr als einem Zwischenglied sind in der Regel nicht freigegeben. Beim Zirkoniumdioxid der IV. Generation (4Y-TZP) ist die Festigkeit wieder höher, sodass einige wenige Hersteller das Indikationsspektrum auch in den Molarenbereich ausweiten. Hier sind, schon in der Planungsphase einer Restauration, die divergierenden Vorgaben der Hersteller zu beachten!

Allen Zirkoniumdioxiden ist gemeinsam, dass ihr Verschleißverhalten sich deutlich von dem des Zahnschmelzes oder bisheriger Restaurationmaterialien unterscheidet [12, 15]. Zirkoniumdioxid verschleißt praktisch nicht. In Folge dieser Tatsache können bei ungünstiger Verteilung der verschleißfesten monolithischen Versorgungen in einem Gebiss Veränderungen der Okklusion bis hin zu Lageänderung der Kauene resultieren. Funktionelle Störungen sind dann nicht auszuschließen [2]. Um Schäden an den Antagonisten zu vermeiden, ist es essenziell, monolithisches Zirkoniumdioxid nach okklusalen Korrekturen immer perfekt auf Hochglanz zu polieren [8, 11]. Wird diese Maßnahme unterlassen, werden die Antagonisten überproportional abrasiv geschädigt [12].

Des Weiteren bedarf auch die Sicherheit des Werkstoffes Zirkoniumdioxid in der klinischen Anwendung unserer Aufmerksamkeit. Ausgangsmaterial für unser klinisch verwendetes Zirkoniumdioxid ist das Mineral „Zirkon“. Das Mineral „Zirkon“ ist Träger der natürlichen Radioaktivität [1, 16]. Es enthält neben Zirkoniumsilikat, Hafniumoxid, Thoriumoxid und Uranoxid. Von diesen „Verunreinigungen“ muss der klinische Werkstoff gesäubert werden. Dies gelingt bei Thoriumoxid und Uranoxid. Kleine Spuren von Hafnium (Abb. 4) lassen sich bei Zirkoniumdioxid in der Regel nachweisen. Dies ist jedoch unbedenklich. Nicht befriedigen kann aber die Tatsache, dass im zuständigen Medizinpro-

duktesgesetz [9] bisher keine Regelungen zur Reinheit von medizinisch verwendetem Zirkoniumdioxid aufgeführt sind und dass die Prozesse der Aufbereitung von Zirkoniumdioxid wenig transparent sind. Probleme mit Hüftgelenkprothesen aus den 90iger Jahren zeigen [3], dass in diesem Punkt Wachsamkeit geboten ist.

### Zusammenfassung

In Abhängigkeit von ihrer Yttrium-/ Aluminium-Dotierung weisen dentale Zirkoniumoxide unterschiedliche Eigenschaften auf. Zirkoniumdioxide mit höherer Transluzenz haben eine gegenüber den klassischen opaken Zirkoniumdioxiden verminderte mechanische Festigkeit. Aufgrund dieser Tatsache sind ihre klinischen Indikationen eingeschränkt. Für transluzente Zirkoniumdioxide unterscheiden sich die klinischen Indikationen kaum von denen für Lithiumdisilikate. Individuelle Indikationseinschränkungen oder Erweiterungen der Indikation in den Molarenbereich seitens eines Herstellers müssen vor allem bei 4Y-TZP-Zirkoniumdioxiden beachtet werden. Besonders verwirrend sind die stark variierenden Indikationsstellungen für die neue Generation V der gemischten Zirkoniumdioxide mit verlaufender Transluzenz innerhalb eines Fräsblocks. Wir finden für diese Generation Indikationsstellungen, welche nur kleine dreispännige Brücken im Frontzahngebiet zulassen [6] bis hin zur Freigabe von 14-gliedrigen Brücken [4] (maximal 2 Zähne pro Schaltlücke ersetzt). Heutzutage gibt es also nicht „das Zirkoniumdioxid“, sondern eine Vielzahl an Materialvarianten, welche für individuelle Anwendungen geschaffen sind.

Michael Behr, Julian Füllerer,  
Thomas Strasser, Verena Preis,  
Julian Zacher, Regensburg

### Literatur

1. Behr M: Dentales Zirkonium und Strahlenexposition. In: Staehle HJ (Hrsg): Deutscher Zahnärzte Kalender 2015, Deutscher Ärzteverlag, Köln 2015, 11–16

2. Behr M, Proff P, Rosentritt M: Führt die Anwendung von monolithischem Zirkoniumdioxid möglicherweise zu Funktionsstörungen? Dtsch Zahnärztl Z 2019; 74: 86–89
3. Cale B, Peille CN: Radioactive properties of ceramic hip joint heads. In: Heimke G (Hrsg): Bioceramic 1990, 152–159
4. Ivoclar Vivadent: IPS e-max ZirCAD Prime Gebrauchsanweisung. <https://www.ivoclarvivadent.com/de/p/alle/produkte/vollkeramik/ips-emax-techniker/ips-emax-zircad>, (letzter Zugriff am 02.01.2020)
5. Kaizer MR, Kolakamprasert N, Rodrigues C, Chai H, Zhang Y: Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias. Dent Mater 2020; 36: 60–67
6. Kuraray Noritake Europe: Gebrauchsanleitung Katana Keramik UT (Ultra Translucent) & UTML (Ultra Translucent Multi Layered), Hattersheim 2017
7. Lohbauer U, Belli R, Wendler M: Keramische Materialien. In: Rosentritt M, Ilie N, Lohbauer U (Hrsg): Werkstoffkunde in der Zahnmedizin. Moderne Materialien und Technologien. Thieme, Stuttgart, New York 2018, 239–305
8. Matzinger M, Hahnel S, Preis V, Rosentritt M: Polishing effects and wear performance of chairside CAD/CAM materials. Clin Oral Investig 2019; 23: 725–737
9. Medizinproduktegesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. August 2002 (BGBl. I S. 3146), das zuletzt durch Artikel 83 des Gesetzes vom 20. November 2019 (BGBl. I S. 1626) geändert worden ist, 2019
10. Pjetursson BE, Valente NA, Stranding M, Zwahlen M, Liu S, Sailer I: A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic single crowns. Clin Oral Implants Res 2018; 29 (Suppl 16): 199–214
11. Preis V, Grumser K, Schneider-Feyrer S, Behr M, Rosentritt M: The effectiveness of polishing kits. Influence on surface roughness of zirconia. Int J Prosthodont 2015; 28: 149–151
12. Preis V, Grumser K, Schneider-Feyrer S, Behr M, Rosentritt M: Cycle-dependent in vitro wear performance of dental ceramics after clinical surface treatments. J Mech Behav Biomed Mater 2016; 53: 49–58
13. Rosentritt M, Kieschnick A, Stawarczyk B: Zahnfarbene Werkstoffe im Vergleich. Kleine Werkstoffkunde für Zahnärzte – Teil 4. ZM-online 2019
14. Rosentritt M, Kiesneck, A, Hahnel S, Stawarczyk, B: Werkstoffkunde-Kompen-

dium Zirkonoxid. Moderne dentale Materialien im Arbeitsalltag. <https://werkstoffkunde-kompodium.de/das-werkstoffkunde-kompodium/zirkonoxid/>, (letzter Zugriff am 27.01.2020)

15. Rosentritt M, Schumann F, Krifka S, Preis V: Influence of zirconia and lithium disilicate tooth- or implant-supported crowns on wear of antagonistic and adjacent teeth. J Adv Prosthodont 2020; 12: 1–8

16. Rösler HL: Lehrbuch der Mineralogie. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1991



(Foto: UKR)

**PROF. DR. MED. DENT.  
MICHAEL BEHR**

Universität Regensburg  
Fakultät für Medizin  
Franz-Josef-Strauss-Allee 11  
93053 Regensburg

[michael.behr@klinik.uni-regensburg.de](mailto:michael.behr@klinik.uni-regensburg.de)



**DIE ABSTRACTS DER VORTRÄGE DES 5. DGZ-TAGES DER WISSENSCHAFT/UNIVERSITÄTEN UND DER 4. GEMEINSCHAFTSTAGUNG DER DGZ UND DER DGET MIT DER DGPZM UND DER DGRZ FINDEN SIE AB DEM 01. NOVEMBER 2020 UNTER [WWW.ONLINE-DZZ.DE](http://WWW.ONLINE-DZZ.DE).**