

# Persönliche PDF-Datei für

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

[www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

**Verlag und Copyright:**

Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstraße 14  
70469 Stuttgart  
ISSN

Nachdruck nur  
mit Genehmigung  
des Verlags



# Keramikimplantate – eine sichere und moderne Erweiterung des implantologischen Behandlungsspektrums?\*

J. Tartsch  
Kilchberg/CH

**Als alternative Therapievariante für den Ersatz fehlender Zähne gehörten heute Implantate bereits zum Standardrepertoire in vielen Zahnarztpraxen. Die biologischen Prinzipien der Implantologie sind weitestgehend bekannt und die unterschiedlichen Systeme haben sich im Laufe ihrer Entwicklung immer weiter angenähert. Es gibt kaum noch Unterschiede in systembedingten Überlebensraten, die Implantatdesigns sind fast identisch (Schraube), Abutmentverbindungen (2-teilig verschraubt) und Oberflächengestaltung (raue Implantatoberflächen) unterscheiden sich nur noch im Detail. Auch das Material ist all diesen Implantaten gemeinsam und steht für sichere und langfristige vorhersehbare Ergebnisse: Titan.**

Demgegenüber steht in den Praxen ein zunehmend spürbarer Wunsch der Patienten nach metallfreien Restaurationen – auch in der Implantologie [1]. Jedoch muss die richtige Materialauswahl und Indikationsstellung in der Hand des Zahnarzts bleiben, denn er ist letztendlich seinem Patienten gegenüber verantwortlich.

Auch in Fachkreisen wird Titan zunehmend diskutiert. Ätiologie und Therapie der Periimplantitis sind fester Bestandteil fast jedes implantologischen Kongresses und werden auch in Zukunft immer größeren Stellenwert einnehmen [2,3]. Unbestritten dürfte für die Entstehung die Bedeutung des bakteriellen Biofilms sein (mikrobielle Theorie). Aber zunehmend mehren sich Stimmen welche auch dem Material Titan eine gewisse Rolle hierbei zusprechen (immunologische Theorie) [4]. Neueste Forschungsergebnisse belegen eindrücklich, dass auch Titan einer Korrosion unterliegt, welche nicht mehr zu negieren ist. Es wurden Titanpartikel in allen periimplantären Geweben gefunden [5], wobei die Verteilung der Partikel sogar dem einer Periimplantitis typischen, wannenförmigen Knochendefekten entspricht [6]. Unterstützt wird diese „Bio“-Korrosion durch die Verwendung verschiedener Me-

talle (bspw. Goldabutment) [7] oder das Vorhandensein bakterieller Lipopolysaccharide LPS aus Bakterienwänden [8,9]. Aber auch durch die Mikrobewegung des Implantats im Knochen kann es intraossär zu Abrieb von Titanpartikeln kommen. Diese Titanpartikel werden im Sinne einer chronischen Entzündung von ortständigen Gewebsmakrophagen unter Sezernierung von Entzündungszytokinen phagozytiert und über das Lymphsystem abtransportiert. Bei einigen Patienten ist diese Zytokinfreisetzung erhöht – man spricht von einer „Titanunverträglichkeit“ [10]. So scheint der Wunsch „metall-(Titan-)frei“ auch aus fachlicher Perspektive zumindest nicht ganz unberechtigt zu sein und das Thema „Biokompatibilität von Titan“ sollte Gegenstand weiterer Forschung sein ... zumal sich heute mit modernen Keramikimplantaten ernsthafte und zunehmend gleichwertige Alternativen anbieten (Abb. 1). In manchen Bereichen bringen sie sogar deutliche Vorteile. Das Hauptargument der Anbieter ist zwar die verbesserte Ästhetik, jedoch kann natürlich auch mit Titanimplantaten eine hervorragende Ästhetik erzielt werden – sofern eine ausreichende Schleimhautdicke vorhanden ist. Denn unter 2 mm Mucosadicke kann es zum grauen Durchschimmern des Abutments und des Implantats kommen [11] (Abb. 2). Die Lösung ist in solchen Fällen die Verwendung vollkerami-



Abb. 1 Titan und Keramikimplantat.

\* Vortrag gehalten bei der 8. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Umweltzahnmedizin (DEGUZ) im Juni 2016 in Frankental.

scher Abutments, welche jedoch in Verbindung mit Titanimplantaten durch Abrieb bis zur Zerstörung des Implantatinterfaces führen können oder die Verdickung der Mucosa durch ein Bindegewebsgraft, welches wiederum ein weiterer Eingriff mit entsprechender Morbidität für den Patienten bedeutet.

Das Hauptargument für Keramikimplantate aus der klinischen Erfahrung heraus sind die hervorragenden und nahezu durchgängig entzündungsfreien periimplantären Weichgewebsverhältnisse, wie sie auch im Vergleich von vollkeramischen Kronen zu herkömmlichen VMK-Kronen bekannt sind (Abb. 3). Auch wenn dem Keramikimplantat entsprechende Langzeit-Evidenz noch fehlt, liegen bereits die ersten 5-Jahres-Ergebnisse vor [12]: Periimplantitis wurde bei Keramikimplantaten nicht beobachtet [13]. Bedingt wird dies durch die idealen biologischen Eigenschaften der Keramik. Aber auch eine geringere bakterielle Adhäsion an Keramikoberflächen [14,15] und die dem gegenüber Titan signifikant bessere, dem natürlichen Zahn entsprechende periimplantäre Weichgewebsdurchblutung [16] sind hierfür verantwortlich.

### ...der schlechte Ruf der Vergangenheit gilt heute nicht mehr

In der Vergangenheit gehörten Keramikimplantate vornehmlich in die Therapiekonzepte der ganzheitlichen Zahnmedizin, welche hier wertvolle Pionierarbeit leistete. Dabei konnten relativ hohe Verluststraten noch als Kompromiss für „Metallfreiheit“ betrachtet werden. Implantate aus reinem Aluminiumdioxid mit nur 550 MPa Biegefestigkeit waren fraktur anfällig, es kam zu Implantatversagen durch fehlende Osseointegration maschinierter, glatter Oberflächen oder durch Fehlbelastungen während der Einheilphase bei einteiligen Systemen ohne ausreichende Primärstabilität. Dieser Ruf hallt den Keramikimplantaten leider heute noch nach und es sind immer noch die Standartargumente in der Diskussion um Keramikimplantate.

In der Tat können in der modernen Zahnmedizin solche Probleme nicht mehr akzeptiert werden. Die Patienten müssen langfristig stabile und sichere Therapiekonzepte erwarten dürfen und neue Konzepte wie Keramikimplantate müssen sich mit bewährten Methoden wie Titanimplantaten messen lassen und einem Vergleich standhalten.

### Rasante Weiterentwicklungen: Material, Oberflächen, Restaurationen

Moderne Keramikimplantate neuester Generation brauchen diesen Vergleich nicht mehr zu scheuen, sofern dann aber auch wirklich Vergleichbares verglichen wird. Die rasante technische Weiterentwicklung der wesentlichen Erfolgsfaktoren Material, Oberfläche und Versorgungskonzept brachte sie auf Augenhöhe mit



Abb. 2 Graues Durchschimmern des Titanimplantats und Korrosion der Suprakonstruktion; im Frontzahnbereich mit hoher Lachlinie nicht tolerierbar.



Abb. 3 a Entzündungsfreie Mucosa mit ausgeformtem Emergenzprofil bei verschraubtem Keramikimplantat. b Verschraubte metallfreie Krone nach dem Einsetzen.

Titanimplantaten, die Überlebensraten sind vergleichbar [17] und der negative Ruf muss daher der Vergangenheit angehören.

Dies in Verbindung mit den Vorteilen der Keramik führte derzeit dazu, dass Keramikimplantate als Ergänzung und Alternative zu Titan auch zunehmend Einzug in die moderne implantologische Praxis halten und das Interesse für Keramikimplantate berechtigterweise stetig wächst.

### Watch the Guidelines...!

Natürlich gelten für Keramikimplantate von der Osseointegration bis hin zur Augmentation die gleichen bekannten biologischen Prinzipien wie für Titan, es handelt sich aber um einen anderen Werkstoff. Um daraus resultierende Komplikationen zu vermeiden, sollte man im Umgang mit seinen Besonderheiten und einigen Grundlagen vertraut sein. Insbesondere sollten die Guidelines der jeweiligen Anbieter beachtet werden.

### Grundlagen Material

Eine der wichtigsten Neuerungen war im Jahre 2001 die Einführung der stabilen polykristallinen Biokeramik Zirkondioxid anstelle der bisherigen bruchanfälligen Aluminiumoxidkeramik.

Das Ausgangsmaterial Zirkon ist wie Titan ein Metall. In Kontakt mit Sauerstoff bildet sich jedoch oberflächlich auf Titan die bekannte Passivierungsschicht aus Titandioxid, wogegen Zirkon im Laufe seines Verarbeitungsprozesses komplett zu einer Keramik mit einer mikrokristallinen Struktur durchoxidiert wird. Diese mikrokristalline Struktur ist jedoch nicht einheitlich, sondern liegt zunächst in einer instabileren „monoklinen“

Phase vor (monoklines Kristallgitter). Im Laufe des Verarbeitungsprozesses wird diese monokline Phase bei einem Druck von bis zu 2000 bar und einer Temperatur von 1170 °C (Hot Isostatic Pressing – HIP) in die gewünschte stabile tetragonale Phase überführt, das Volumen der Kristalle reduziert sich dabei um 3–5%. Diese gewünschte tetragonale Phase hat jedoch das Bestreben unter Energieeinwirkung in die monokline Phase zurück zu fallen. Dieser Vorgang wird als Phasentransformation bezeichnet und geht mit einer Reduktion an Dichte, Zähigkeit und Härte einher [18].

Um eine „Phasentransformation“ von tetragonal zu monoklin zu vermindern, wurde im Laufe der Entwicklung die Korngröße auf heute 400 nm vermindert. Vor allem aber werden in einem Volumenanteil von 2–3% stabilisierende Oxide (Yttrium-Oxid) beigemischt, welches die für die Phasenumwandlung benötigte Energie erhöht und die Phasenumwandlung damit erschwert. Man spricht nun vom Yttrium-stabilisierten tetragonalen Zirkonoxid-Polykristallen, nun bekannt als Y-TZP Bio HIP [19].

Eine besondere Rolle spielt diese Phasentransformation im klinischen Alltag. Denn durch das Beschleifen des Zirkondioxids kann durch die Entstehung von Mikrocracks genau die Energie in das

Material eingebracht werden, welche zur Phasentransformation tetragonal-monoklonal benötigt wird und diese stellen damit potenzielle „Schwachstellen“ im Material dar. Die hierdurch entstanden monoklonalen Kristalle sind jedoch größer als ihre vorherige tetragonale Form. Durch diese Volumenzunahme wird der entstandene Spalt „zugedrückt“ und an einer weiteren Ausbreitung gehindert („Selbstheilungseffekt“) [20] (Abb. 4).

Dies erklärt, warum manche einteilige Systeme nicht für das Beschleifen freigegeben sind. Andere Systeme verweisen auf Studien, welche belegen, dass ein Beschleifen der Implantate keinen Einfluss auf die Frakturanfälligkeit besitzt [21].

Auch für den viel diskutierten Alterungsprozess spielt die Phasentransformation eine wichtige Rolle. Bei Temperaturen zwischen 70 und 130 °C unter Anwesenheit von Wasserdampf beginnt eine spontane fortschreitende Phasentransformation, welche als „Alterung“ bezeichnet wird (hydrothermale degradation, low temperature degradation). Eine Rolle spielte dies 2001, als Reihenweise Hüftgelenke eines bestimmten Anbieters frakturierten. Man beachtete die Phasentransformation nicht und die keramischen Hüftgelenke wurden bei 130 °C dampfsterilisiert, was zu Instabilität und letztendlich zu den Frakturen führte. Im menschlichen Körper herrschen jedoch nur 37 °C und das Material bleibt stabil [22,23].

TZP verfügt über eine mittlere Biegefestigkeit von 1100 MPa (Vergleich: Titan 400 MPa, Aluminiumoxid 550 MPa). Durch die Zugabe von bis zu 0,5 Vol% Aluminiumoxid wird diese Biegefestigkeit auf 1200 MPa weiter erhöht. Man spricht nun von TZP-A, welches in dieser Form für die meisten heutigen Keramikimplantate verwendet wird [18].

Die neueste Generation erster Anbieter stellt das Alumina Toughened Zirconia ATZ mit einem Volumenanteil von 20% Aluminiumoxid dar. Aluminiumoxid ist hierbei als Keramik nicht mit metallischem Aluminium zu verwechseln. Dieses Aluminiumoxid dient als Stabilisator, vermindert oder blockiert die Rissausbreitung. Die Biegefestigkeit hat sich mit nun 2000 MPa nahezu verdoppelt, eine Umwandlung von der monoklinen in die tetragonale Phase ist signifikant verringert und der Alterungsprozess hat so gut wie keine klinische Relevanz mehr [22,24].

#### Zirkondioxid ist nicht gleich Zirkondioxid ... gilt auch für Implantate

Auch wenn Zirkondioxid immer das Ausgangsmaterial ist, ist die Weiterverarbeitung von Bedeutung. Hier gibt es wie aus der Zahntechnik bekannt große Unterschiede. Korngröße, Reinheit und Dichte beeinflussen maßgeblich die Härte und Qualität. Auch der eigentliche Herstellungsprozess spielt eine Rolle, wobei 2 grundlegende Verfahren zu unterscheiden sind:

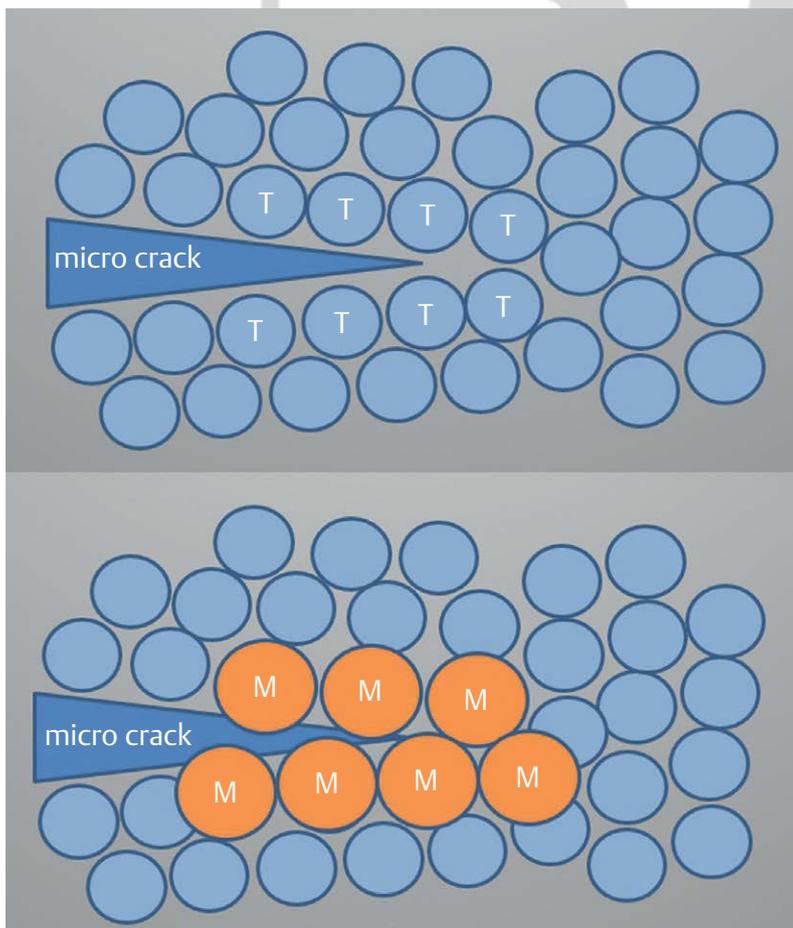


Abb. 4 Phasenumwandlung monoklin – tetragonal und Selbstheilungseffekt bei Mikrocrack.

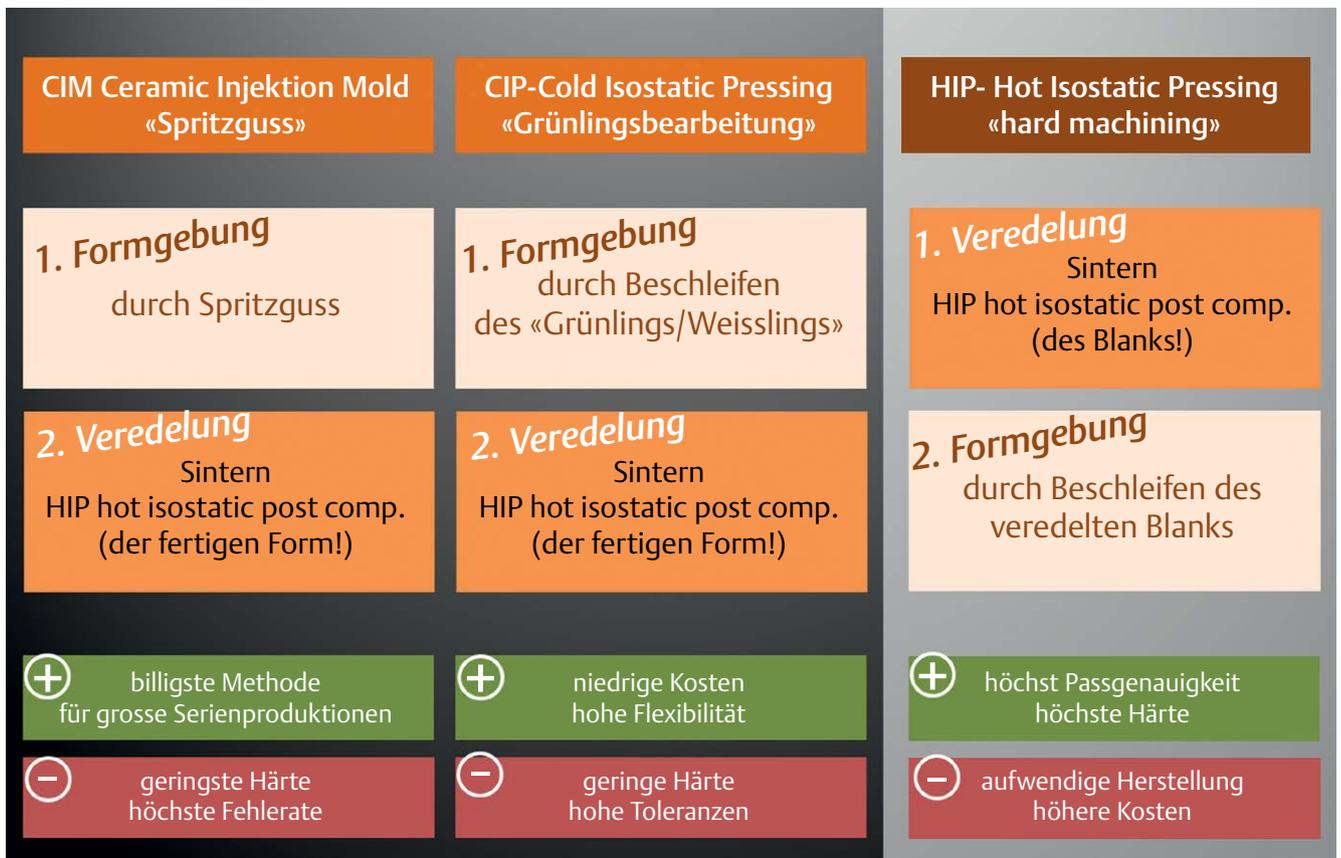


Abb. 5 Verschiedene Herstellungsverfahren von Keramikimplantaten.

Im 1. Verfahren (CIM Ceramic Injektion Mold, CIP- Cold Isostatic Pressing) erfolgt zunächst die Formgebung durch Spritzgussverfahren oder Grünlingsbearbeitung und im zweiten Schritt die Veredelung durch den Sinterprozess. Dies ist zwar das günstigere Verfahren, jedoch muss wie im Dentallabor bis zu 30% Sinterschrumpfung einbezogen werden, was zu einer höheren Fehleranfälligkeit führt. Im anderen Verfahren (hard machining) ist der Ablauf umgekehrt: zunächst wird ein Block veredelt und erst dann unter hohem industriellen Aufwand die Form aus dem fertigen Blank geschliffen. Dieses Verfahren ist zwar teurer und deutlich aufwendiger, jedoch können qualitativ sehr hochwertige und präzise Ergebnisse erzielt werden und wird daher von den großen Anbietern favorisiert (► Abb. 5).

### Grundlagen der Osseointegration von Keramikimplantaten

Wie bei Titanoberflächen kommt es bei glatten Implantatoberflächen zu einem geringeren Bone Implant Contact (BIC), was auch bei den früheren Keramikimplantaten zu höheren Verlusten führte. Das Ziel sind daher wie bei Titan raue Oberflächen mit hydrophilen Eigenschaften. Ist jedoch die Bearbeitung einer Titanoberfläche vergleichsweise einfach, müssen bei der industriellen Bearbeitung einer Zirkonoberfläche immer auch mögliche strukturelle Änderung im

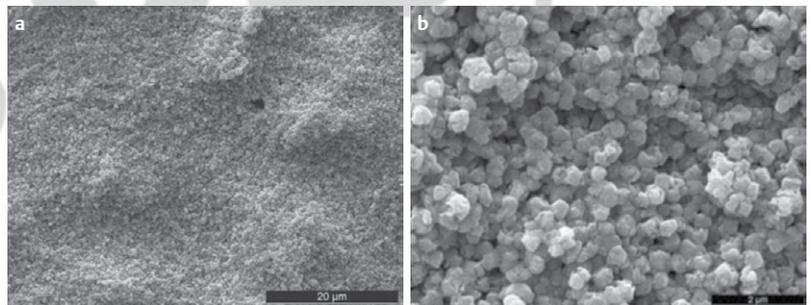


Abb. 6 Beispiel für Oberfläche eines Keramikimplantats. a Makrostruktur durch Edelkorndstrahlung, Mikrostruktur durch Säureätzverfahren. Vergrößerung 20 µm. b Dieselbe Oberfläche in weiterer Vergrößerung 2 µm (Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Dentalpoint AG / Zeramex, Zürich, CH).

Kristallgefüge vermieden werden. Es werden daher verschiedene Methoden der Oberflächenbearbeitung zur Vergrößerung der Makro- und Mikrostruktur angeboten:

Hierzu gehören u.a. die Schaffung einer rauen Oberfläche über die Gussform, Oberflächenmodifikation mittels Laser, das Aufbringen zusätzlicher Beschichtungen oder Makrostruktur durch Sandstrahlung mit anschließender Mikrostrukturierung durch thermische Oberflächenätzung mit verschiedenen Säuren und resultierenden verschiedenen Ätzmustern (► Abb. 6). Die Bewertung dieser Verfahren liegt ähnlich entsprechender Verfahren auf Titanimplantaten.

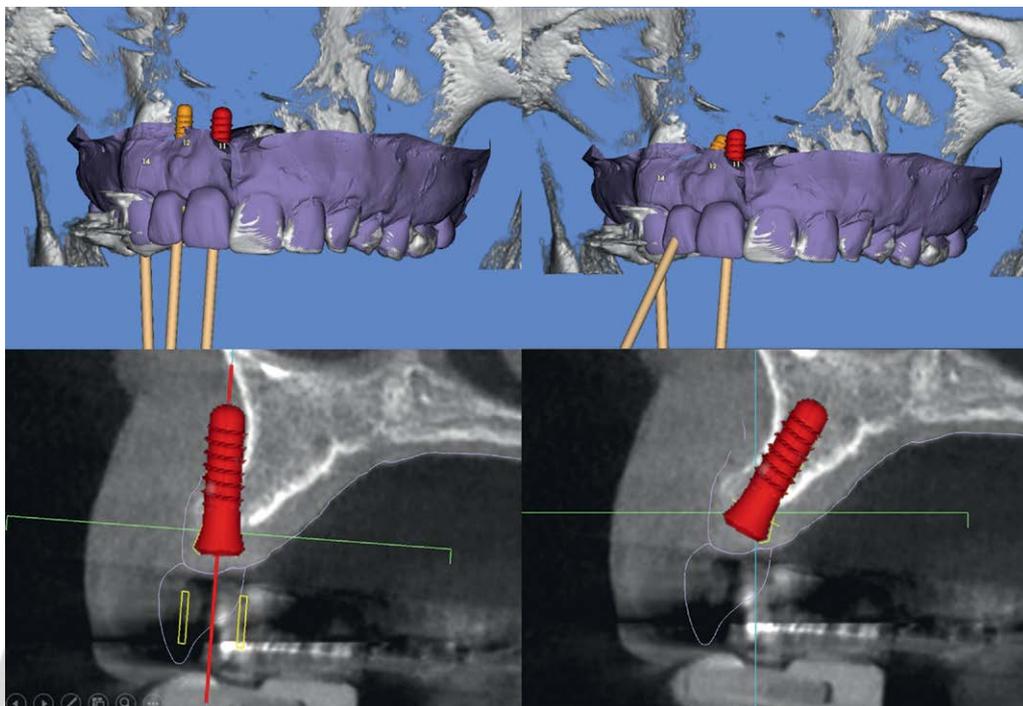


Abb. 7 Implantatpositionierung ohne Augmentation aus prothetischer Sicht nicht sinnvoll.

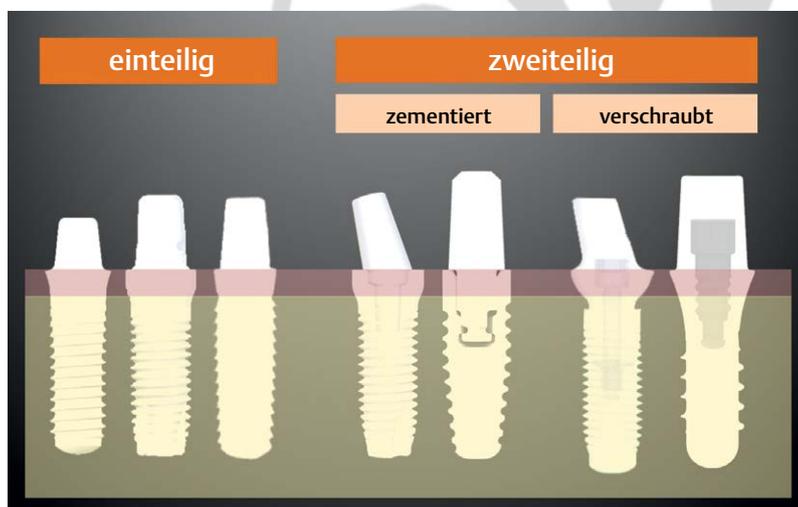


Abb. 8 Verschiedene Varianten von Abutmentverbindungen bei Keramikimplantaten.

Tierexperimentelle Studien und verschiedene Übersichtsarbeiten zeigen dabei, dass sich Keramikimplantate mit modernen, heute bei Titan üblichen Oberflächengestaltungen den hinsichtlich der Osseointegration gegenüber Titanimplantaten nicht mehr unterscheiden [25–27]. In der klinischen Anwendung ist jedoch zu beachten, dass Keramik anders als das Metall Titan keine Wärme ableitet. Beim Inserieren der Implantate sollte daher zu hohe Wärmeentwicklung im Knochen durch zu hohe Torque-Werte vermieden werden. Dies kann in Einzelfällen zu thermischer Degeneration der Osteoblasten und entzündungsfreiem Implantatverlust durch ausbleibende Osseointegration führen.

### Prothetische Konzepte

Materialbedingt sind heute noch die Mehrzahl der angebotenen Keramikimplantate 1-teilige Systeme (Monoblock). Sie haben den Vorteil, dass sie in der Versorgung der gewohnten Tätigkeit mit Abformung und Zementierung einem natürlichen Zahn sehr nahe kommen und durch die „Einteiligkeit“ als hermetisch dicht gelten. Um ein nachträgliches Beschleifen des Aufbaus und damit des Implantates vermeiden zu können, sollten diese einteiligen Implantate möglichst exakt positioniert werden (◉ Abb. 7). Muss an dieser Position augmentiert werden, ist ein 2-zeitiges Vorgehen an zu streben, um einen spannungsfreien und gedeckten Wundverschluss über dem Augmentat zu erreichen [28].

Sollte keine ausreichende Primärstabilität über 35 Ncm erreicht werden, sollte das Implantat mit Schienen oder ausgeschliffenen Provisorien vor Fehlbelastungen während der Einheilphase geschützt werden. Die Sofortimplantation mit 1-teiligen Implantaten sollte aufgrund noch hoher Verlustraten auf Einzelfälle beschränkt bleiben und erst ab einer Primärstabilität von 45 Ncm durchgeführt werden [29].

Die restaurative Versorgung auf 1-teiligen Implantaten erfolgt durch zementieren, wobei die Implantatschulter die Lage des Kronenrands und damit der Zementfuge darstellt. Nachdem eine Zemententfernung 1–1,5 mm subgingival eine Zemententfernung nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden kann [30], sollte die Implantatschulter und damit der Kronenrand epigingival (tissuelevel) platziert werden (◉ Abb. 8).

In der modernen Implantologie sind 2-teilige Systeme Gold-Standard, denn sie ermöglichen

die Abdeckung vielfältiger Indikationen, ermöglichen unbelastete Einheilphasen sowie ausgedehnte augmentative Verfahren, sie sind reversibel und flexibel.

Dies wird natürlich in der Implantologie mit Keramikimplantaten erwünscht, jedoch stellt nach wie vor die Verbindung von harten Zirkonabutment mit harten Zirkonimplantat eine große Herausforderung dar. Keramik ist auf Druck eher belastbar als auf Zug oder Biegung.

Eine Variante der Abutmentconnection ist das Zementieren des Abutments auf dem Implantat, welches hierdurch nach der unbelasteten Einheilphase zum einteiligen Implantat mit hermetischer Abdichtung wird. Um beim Zementieren nicht mit Positionierungsschlüsseln arbeiten zu müssen, ist auf eine Rotationssicherung und eine eindeutige Positionierbarkeit des Abutments zu achten.

Diese Abutments können nun extraoral beschliffen und angepasst werden, der Implantatkörper wird dabei nicht tangiert. Die Restaurationen auf 2-teiligen Implantaten mit zementierten Abutments müssen jedoch ebenfalls zementiert werden. Sie sind nicht reversibel (außer bei permanent provisorischer Zementierung) und die Implantate sind ebenfalls Tissue Level zu positionieren...im ästhetischen Frontzahnbereich – ebenso wie bei 1-teiligen Implantaten – manchmal ein Spagat zwischen epi- bzw. supragingival liegendem Kronenrand und Zemententfernung in der Tiefe.

Die Bestrebungen gehen daher zu reversibel verschraubbaren Lösungen. Eine interne Verschraubung mit scharfkantigen Metallschrauben oder interne Abutment-Implantat-Verbindungen birgt die Gefahr von internen Spannungsspitzen und Überlastung, welche in dann in den Implantatkörper eingeleitet wird. Dabei ist Keramik auf Druck wesentlich stärker belastbar als auf Zug [31].

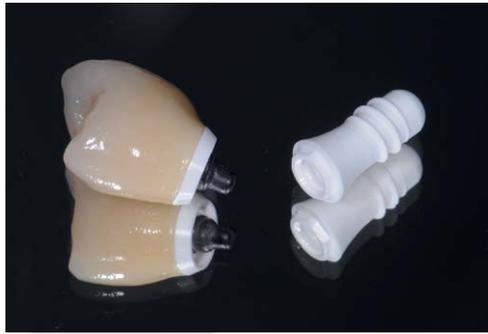


Abb. 9 Analog Titanklebebasis zement- und metallfrei verschraubtes Keramikimplantat.

Das Resultat sind verschiedene Konzepte einer verschraubten Verbindung durch indirekte Verschraubung über kraftaufnehmende Elemente oder die Vermeidung von Zirkon als Abutmentmaterial, jedoch bisher in keinem Fall metallfrei – einem der eigentlichen Gründe für ein Keramikimplantat.

Einen vollkommen neuen Ansatz bringt ein System mit einer metallfreien Schraube aus hochfester Karbonfaser und abgerundeten Gewindegängen. Laut Herstellerangaben erlaubt diese Schraube einer Titanschrauben gleichwertige Anzugskräfte, auftretende Kräfte werden im Sinne eines Feder-elementes abgefangen und die Kräfte gleichmäßig im Implantatkörper verteilt (◉ Abb. 9).

#### Fazit

Zusammenfassend ist zu sagen: Für welches System man sich auch entscheidet...wichtig sind die Kenntnisse der Möglichkeiten und Grenzen des Materials, der fachgerechte Umgang damit, die Beachtung der systemspezifischen Anforderungen, das Auswählen der richtigen Indikationen und vor allem: die Einbeziehung und umfassende Beratung des Patienten. Sind diese Punkte gewährleistet, stellen moderne Keramikimplantate bereits heute eine sinnvolle Bereicherung und Ergänzung des implantologischen Spektrums dar.

**Interessenkonflikt:** Der Autor erklärt, Vize Präsident der „International Academy of Ceramic Implantology“ (IAOCI) und Fortbildungsreferent für eines der genannten Systeme zu sein.

### Literatur

- 1 *Patientenumfrage der Firma Straumann*. Archivdaten
- 2 Mombelli A, Müller N, Cionca N. The epidemiology of peri-implantitis. *Clin Oral Implant Res* 2012; 23 (Suppl): 67–76
- 3 Derks J, Häkansson J, Wennström JL et al. Effectiveness of implant therapy analyzed in a Swedish population: early and late implant loss. *J Dent Res* 2015; 94 (Suppl): 44S–51S
- 4 *DGI-Sommersymposium am 18. Juni 2016 in Frankfurt/Main*
- 5 Olmedo D, Tasat DR, Evelson P et al. Biological response of tissues with macrophagic activity to titanium dioxide. *J Biomed Mater Res A* 2008; 84: 1087–1093
- 6 He X, Reichl FX, Wang Y et al. Analysis of titanium and other metals in human jawbones with dental implants. *Dent Mater* 2016; 2: 1042–1051
- 7 Foti B, Tavitian P, Tosello A et al. Polymetallism and osseointegration in oral implantology: pilot study on primate. *J Oral Rehabil* 1999; 26: 495–502
- 8 Pettersson M, Kelk P, Belibasakis GN et al. Titanium ions form particles that activate and execute interleukin-1b release from lipopolysaccharide-primed macrophages. *J Periodont Res* 2016, doi:10.1111/jre.12364
- 9 Yu F, Addison O, Baker SJ et al. Lipopolysaccharide inhibits or accelerates biomedical titanium corrosion depending on environmental acidity. *Int J Oral Sci* 2015; 7: 179–186
- 10 Jacobi-Gresser E, Huesker K, Schütt S. Genetic and immunological markers predict titanium implant failure: a retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013; 42: 537–543
- 11 Jung R, Sailer I, Hämmerle CH et al. In vitro color changes of soft tissues caused by restorative materials. *Int J of Period and Rest Dent* 2007; 27: 251–257
- 12 Hashim D, Cionca N, Courvoisier D et al. A systematic review of the clinical survival of zirconia implants. *Clin Oral Invest* 2016; 20: 1403–1417
- 13 Cionca N, Hashim D, Cancela J et al. Pro-inflammatory cytokines at zirconia implants and teeth. A cross-sectional assessment. *Clin Oral Investig* 2016; 20: 2285–2291
- 14 Scarano A, Piattelli M, Caputi S et al. Bacterial Adhesion on Commercially Pure Titanium and Zirconium Oxide Disks: An In Vivo Human Study. *J Periodontol* 2004; 75: 292–296
- 15 Ichikawa Y, Akagawa Y, Nikai H et al. Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 322–326
- 16 Kajiwara N, Masaki C, Mukaibo T et al. Soft Tissue Biological Response to Zirconia and metal implant abutments. *Implant Dent* 2015; 24: 37–41
- 17 Oliva J, Oliva X, Oliva JD. Five-year success rate of 831 consecutively placed Zirconia dental implants in humans: a comparison of three different rough surfaces. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010; 25: 336–344
- 18 Metoxit AG, CH - Thayngen. Datenblatt nach DIN EN. 60: 672
- 19 Ried PH, Reed JS, Naumann AW et al. Fabrication and Flexural Strength of Ultra-Fine Grained Yttria-Stabilised Zirconia. *Bull Am Cer Soc* 1976; 55: 717–721
- 20 Guazzato M, Albakry M, Ringer SP et al. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater* 2004; 20: 449–456
- 21 Spies BC, Sauter C, Wolkewitz M et al. Alumina reinforced zirconia implants: Effects of cyclic loading and abutment modification on fracture resistance. *Dent Mater* 2015; 31: 262–72
- 22 Chevalier J, Loh J, Gremillard L et al. Low Temperature Degradation in Zirconia with porous Surface. *Acta Biomater* 2011; 7: 2986–2993
- 23 Chevalier J. What future for zirconia as a biomaterial? *Biomaterials* 2006; 27: 535–543
- 24 Schneider J, Begand S, Kriegel R et al. Low-Temperature Aging Behavior of Alumina-Toughened Zirconia. *Am Ceram Soc* 2008; 91: 3613–3618
- 25 Kohal R. Was wissen wir über Implantate aus Zirkonoxid? *Implantologie* 2014; 22: 9–36
- 26 Saulacic N, Erdösi R, Bosshardt DD et al. Acid and alkaline etching of sandblasted zirconia implants a histomorphometric study in miniature pigs. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014; 16: 313–322
- 27 Chappuis V, Cavusoglu Y, Gruber R et al. Osseointegration of zirconia and titanium implants in the presence of multinucleated giant cells. *Clin Implant Dent Relat Res* 2016; 18: 686–698
- 28 Iglhaut G, Schliephake H. Weichgewebemanagement und -augmentation in der Implantatchirurgie. *Dtsch Zahnärztl Z* 2010; 65: 304–318
- 29 Cannizzaro G, Torchio C, Felice P et al. Immediate occlusal versus non-occlusal loading of single zirconia implants A multicentre pragmatic randomised clinical trial. *Eur J Oral Implantol* 2010; 3: 111–120
- 30 Vindasiute E, Puisys A, Maslova N et al. Clinical Factors Influencing Removal of the Cement Excess in Implant-Supported Restorations. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013; 17: 771–778
- 31 Maier HR. Leitfaden Technischen Keramik; Werkstoffkunde II, Keramik. 2. Auflage Aachen: Selbstverlag Institut für keramische Komponenten im Maschinenbau; 1991

### Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-119537>  
 ZWR – Das Deutsche Zahnärzteblatt  
 2016; 125: 604–610  
 © Georg Thieme Verlag KG  
 Stuttgart · New York  
 ISSN 0044-166X

### Korrespondenzadresse

Dr. Jens Tartsch  
 Kreuzstraße 2  
 CH-8802 Kilchberg  
 dr.tartsch@zahnarzt-kilchberg.ch  
 www.zahnarzt-kilchberg.ch