

Dentale Keramikimplantate – Eine Übersicht

Jens Tartsch

Künstliche Zahnwurzeln (Implantate) aus Titan haben sich in der modernen Zahnheilkunde zu einem Standardverfahren für den Ersatz fehlender Zähne entwickelt. Mit hohen Überlebens- und Erfolgsraten von bis zu 98 % nach zehn Jahren¹ stellen solche Titanimplantate den Goldstandard in der zahnärztlichen Implantologie dar. Nachdem bereits 1965 die ersten dentalen Implantate aus Titan inseriert wurden,² stieg in 2018 die Zahl in Deutschland bereits auf 1,3 Mio.³, weltweit sogar auf circa 10 Mio. Zahnimplantate pro Jahr. Damit haben sich Zahnimplantate nicht nur in der Zahnmedizin zu einem relevanten Faktor entwickelt. Auch die Mediziner werden aufgrund der weiten Verbreitung zunehmend mit diesem Thema und den möglichen systemischen Auswirkungen konfrontiert. Damit sind Hintergrundkenntnisse zu zahnärztlichen Implantaten nicht nur für implantologisch tätige Zahnärzte, sondern auch für Ärzte anderer medizinischer Fachdisziplinen von Bedeutung.

Schlüsselwörter: Implantat, Keramik, Periimplantitis, Titan, Zirkondioxid, Abutment

keywords: implant, ceramic, periimplantitis, titan, zirconia, abutment

Fast zeitgleich mit Titanimplantaten wurden 1967 von Prof. Sami Sandhaus auch die ersten Keramikimplantate vorgestellt.⁴ Sie fristeten lange Zeit ein Schattendasein und waren wegen des Anspruchs *metallfrei* eher der ganzheitlichen Zahnmedizin vorbehalten. Bedingt durch den nicht ausreichend stabilen Werkstoff Aluminiumoxid und einer fehlenden Oberflächenstrukturierung unterlagen sie jedoch lange Zeit niedrigen Erfolgsraten,⁵ wie sie heute nicht mehr vertretbar sind. Mit der Einführung von Zirkondioxid als zuverlässigem Implantatmaterial und der Entwicklung mikrorauer Implantatoberflächen begann sich dies zu ändern.



Abb. 1: Titan- und Keramikimplantate im Vergleich

Keramikimplantate verlieren zunehmend ihren Ruf als Nischenprodukt und halten auch vermehrt in die *konventionell*-implantologischen Praxen Einzug. Dies ist sicherlich durch ein in der Bevölkerung gesteigertes Gesundheitsbewusstsein und die damit gestiegene Nachfrage nach metallfreien Restaurationen bedingt.⁶ Aber auch die Weiterentwicklung von Material, Oberflächen und Anwendungskonzepten und damit einhergehend der zuverlässige Einsatz dürfte ein wesentlicher Grund für die erhöhte Akzeptanz seitens der implantologisch tätigen Zahnärzte sein. Denn die Überlebensraten der Keramikimplantate haben sich bereits in den mit Evidenz gesicherten Indikationen *Einzelzahnrestauration* und *dreigliedrige Brücke* den Titanimplantaten angenähert⁷ und befinden sich für die meisten Keramiksysteme

heute bereits auf Augenhöhe.⁸ Langfristige Daten müssen diese kurz- und mittelfristig guten Ergebnisse zwar noch bestätigen, jedoch ermutigen sie, bereits heute die klinischen Vorteile von Zirkondioxid in der täglichen Praxis als Ergänzung des Behandlungsspektrums neben dem Titan zum Vorteil für unsere Patienten zu nutzen. Denn in der Tat scheint auch der *Goldstandard Titan* nicht ganz frei von Problemen zu sein.

Ästhetik

Den Titanimplantaten wird in der Argumentation für Keramikimplantate meist der Nachteil eines möglichen grauen Hindurchschimmerns durch das Zahnfleisch (Gingiva) zugeschrieben (Abb. 2). Durch die weiße Farbe des Zirkondioxid lässt sich dies mit Keramikimplantaten vermeiden. Selbstverständlich kann aber auch mit Titanimplantaten eine hervorragende Ästhetik erzielt werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch das Vorhandensein einer mindestens 2 mm dicken periimplantären Schleimhaut (Mukosa), die ein solches gräuliches Durchschimmern der Titanimplantate verhindert.⁹ Ist dies nicht gegeben, sollte eine Verdickung der Mukosa mit Bindegewebs-Transplantaten aus dem Gaumen erfolgen. Dies bedeutet jedoch einen zusätzlichen operativen Eingriff und damit eine zusätzliche Belastung für den Patienten.



Abb. 2: Durchschimmern von Titanimplantaten

Vollkeramische Abutments (Implantataufbauten) stellen eine Alternative dar, jedoch können Mikrobewegungen des harten Zirkondioxid-Abutments auf dem weicheren Titanimplantat zu Abrieb bis hin zur Zerstörung der Implantat-Abutmentverbindung führen.¹⁰ Wie auch bei Titanimplantaten kann es bei Keramikimplantaten in seltenen Fällen zu unerwünschten Rezessionen (entzündungsfreier Rückgang der Gingiva) mit freiliegender Implantatschulter kommen. Jedoch wird dies von den betroffenen Patienten im Hinblick auf die Ästhetik wesentlich besser toleriert als bei den dunklen Rändern von Titanimplantaten (Abb. 3).



Abb 3: Rezessionen bei Keramik und Titanimplantaten

Periimplantitis

Als Hauptproblem der Titanimplante ist jedoch aus heutiger Sicht das Risiko einer Periimplantitis zu nennen. Sie beschreibt entzündliche pathologische Zustände mit progressivem Verlust von periimplantären Hart- und Weichgeweben und kann letztendlich bis zum Verlust des Implantates führen (Abb. 4 und Abb. 5). Die Prävalenz ist mit knapp 15 % nach 9 Jahren,¹¹ bzw. mit 10 % der Implantate und 20 % der Patienten während 5–10 Jahren nach Implantation¹² nicht unerheblich, insbesondere wenn man diese Prävalenz auf die Zahl der gesamt inserierten Implantate hochrechnet. Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass Ätiologie und Therapie der Periimplantitis fester Bestandteil eines fast jeden implantologischen Kongresses sind und auch in Zukunft immer größeren Stellenwert einnehmen werden.

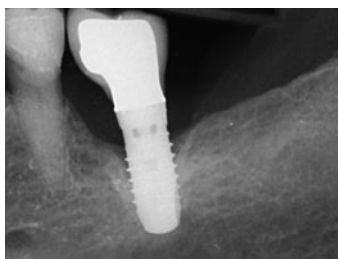


Abb. 4: Periimplantitis mit Knochenverlust beim Titanimplantat



Abb. 5: Pus-Entleerung am selben Implantat

Nach wie vor unbestritten für die Entstehung einer Periimplantitis ist der bakterielle Biofilm (mikrobielle Theorie).¹³ Eine Anhäufung von Bakterien und Plaque führt zu Entzündung und Gewebsrückgang, eine gute Mundhygiene wirkt dem entgegen. Weitere Risikofaktoren sind u. a. Rauchen, Diabetes oder lokale mechanische Faktoren. Aber zunehmend verdichten sich die Argumente, die auch dem Material Titan eine gewisse Rolle bei der Entstehung

einer Periimplantitis zusprechen (Fremdkörpertheorie).¹⁴ Auch Titan unterliegt einer Korrosion und es wurden Titanpartikel im periimplantären Knochen und Weichgeweben gefunden.¹⁵ Die Verteilung der Partikel entspricht einem für eine Periimplantitis typischen wannenförmigen Knochendefekt.¹⁶ Gefördert wird diese Bio-Korrosion durch die Verwendung verschiedener Metalle (etwa Goldabutment)¹⁷ oder das Vorhandensein bakterieller Lipopolysaccharide LPS aus Bakterienwänden.^{18,19} Aber auch durch das Eindrehen (Insertion) und die spätere funktionelle Mikrobewegung des Implantates im Knochen kann es intraosär zum Abrieb von Titanpartikeln kommen. Diese Titanpartikel werden im Sinne einer unspezifischen chronischen Entzündung von ortsständigen Gewebsmakrophagen unter Sezernierung von Entzündungszytokinen phagozytiert und über das Lymphsystem abtransportiert. Bei einigen Patienten ist die Freisetzung proentzündlicher Zytokine unverhältnismäßig stark, die lokal als möglichen zusätzlichen Risikofaktor einer Periimplantitis betrachtet werden, aber auch über einen dauerhaft erhöhten Zytokinspiegel systemische Effekte auslösen kann. Eine solche *Titanunverträglichkeit*²⁰ ist über den *Titanstimulationstest* und den Nachweis von proentzündlich assoziierten Polymorphismen in den Genen für TNF- α und Interleukin-1 nachweisbar (siehe Artikel *Labordiagnostik* für die Zahnmedizin in diesem Heft).

Die vielzitierte und oft berichtete *Titanallergie* ist physiologisch jedoch eher nicht möglich. Für eine Metallsensibilisierung (Typ-IV-Reaktion vom Spättyp) ist die Anwesenheit von freien Metallionen notwendig, die sich an körpereigene Proteine binden und damit immunologisch reaktive Haptene bilden können. Titan ist jedoch hochreaktiv und möglicherweise freiwerdende Titanionen reagieren im Millisekundenbereich mit Sauerstoff zu Titan-dioxid (Passivierungsschicht). Solche Metalloxide sind jedoch per Definition *Keramik*, diese Reaktion ist nicht reversibel. Es stehen somit keine freien Titan-Ionen für die Ausbildung einer möglichen allergischen Reaktion zu Verfügung. Ein vielfach noch durchgeführter Lymphozytentransformationstest (LTT) auch in Form des MELISA-Tests zum Nachweis einer Titansensibilisierung erscheint daher wenig sinnvoll.

Zahnärztliche Implantate bestehen mehrheitlich aus Reintitan Grad IV. Jedoch konnten herstellungsbedingte Verunreinigungen mit Nickel oder Chrom nachgewiesen werden,²¹ was bei der bekannt hohen Prävalenz von Nickel-Sensibilisierungen eine mögliche Erklärung für die in der Literatur beschriebenen *Titanallergien* darstellt.

Die verbleibenden Implantatsysteme werden wie die meisten Titan-Endoprothesen aus einer Titanlegierung (Titan Grad V) gefertigt. Legierungsbestandteile sind Aluminium, Vanadium und Rodium. Diese Metalle können im Gegensatz zum Titan sehr wohl in ionischer Form freigesetzt werden und damit zu allergischen Reaktionen führen. Ein LTT auf diese Bestandteile sowie auf Nickel wäre in diesem Falle angezeigt.

Idealerweise sollte der Nachweis einer solchen immunologischen Entzündungsneigung im Vorfeld einer Implantation erfolgen und bei einem Vorliegen dieser Risikokonstellation ein Keramikimplantat als echte Alternative in Erwägung gezogen werden. Der Werkstoff Zirkondioxid ist aufgrund seiner Materialeigenschaften bioinert: Es kommt zu keiner chemischen und/oder biologischen Wechselwirkung zwischen Implantat und dem

Gewebe. Es werden keine toxischen oder allergisierenden Substanzen freigesetzt. Somit sind Sensibilisierungen und immunologische Reaktionen hinsichtlich des Werkstoffes Zirkondioxid ausgeschlossen. Ein Lymphozytentransformationstest (LTT) auf *Keramik* ist konsequenterweise nicht indiziert.

Diese bioinerten Eigenschaften scheinen aber auch in Hinblick auf die Periimplantitisentstehung und die Qualität der Weichgewebe Vorteile mit sich zu bringen. Der Werkstoff Zirkondioxid zeigt gegenüber Titan eine geringere Plaqueanlagerung und geringere bakterielle Adhäsion,^{22, 23} sowie eine geringere Dicke des aufgelagerten Biofilmes.²⁴ Auch die zirkuläre Durchblutung der Weichgewebe entspricht bei Keramik eher dem natürlichen Zahn und ist bei Titan signifikant verringert.²⁵ Eine bessere Durchblutung bedeutet bekanntermaßen gesünderes Weichgewebe und das hat wiederum nicht nur ästhetisch verbesserte Ergebnisse zur Folge. Auch wenn Keramikimplantaten entsprechende Langzeitevidenz noch fehlt, liegen bereits die ersten 3- und 5-Jahres-Ergebnisse vor, deren Tendenz von präklinischen Studien und der klinischen Erfahrung untermauert wird: Zirkondioxid zeigt denselben – in manchen Untersuchungen sogar weniger – *marginal bone loss* wie Titanimplantate. Periimplantitis konnte in diesem Zeitraum klinisch noch nicht beschrieben werden.^{26, 27, 28, 29} Dabei muss jedoch eine differenzierte Betrachtung erfolgen. Auch bei Keramikimplantaten können Hitzedefekte beim Eindrehen in den Knochen,³⁰ übermäßig raue³¹ oder poröse Implantatoberflächen³² zu periimplantären Knochendefekten führen.

Auch wenn für eine geringere Periimplantitisneigung noch wissenschaftliche Evidenz erbracht werden muss, steht dem zumindest aus der klinischen Erfahrung heraus das wesentliche Argument für Keramikimplantate gegenüber: die hervorragende und nahezu durchgängig entzündungsfreie periimplantäre Weichgewebssituation (Abb. 6).



Abb. 6: Entzündungsfreies Weichgewebe

Das Material Zirkondioxid

Gründe für dieses bioinerte Verhalten sind in den Materialeigenschaften von Zirkondioxid als Keramik zu suchen. Das natürliche Ausgangsmaterial *Zirkon* ist zwar in der Tat ebenfalls ein Metall, jedoch wird es wie eingangs bereits beschrieben durch Reaktion mit Sauerstoff zu Zirkondioxid und damit irreversibel zu Keramik vollständig durchoxidiert. Im Gegensatz zu den im Metall *Titan*

nach wie vor freien und damit reaktiv vorliegenden Elektronen sind die Elektronen von *Zirkondioxid* fest – und daher nicht reaktiv – in echten kovalenten Bindungen gebunden. Diese geringe Reaktivität bedingt die besonderen Eigenschaften der Keramik: Geringe thermische und elektrische Leitfähigkeit, geringe Oberflächenspannung, geringe Löslichkeit/*Korrosion* und damit geringere Interaktion mit umgebenden Geweben. Auf der anderen Seite ist damit aber auch eine fehlende Elastizität und daraus resultierend eine höhere Bruchanfälligkeit verbunden.

Die früher aufgrund dieser Bruchanfälligkeit noch recht hohen Frakturraten konnten durch eine rasante Weiterentwicklung der Materialeigenschaften heute von 3,4 % auf 0,2 % deutlich reduziert werden.³³ Sowohl in statischen als auch in dynamischen Bruchfestigkeitstests nach ISO 14801 wurde dies bestätigt, womit einige dieser modernen Systeme sowohl in Hinsicht auf die Bruchfestigkeit als auch für einen klinischen Einsatz als geeignet eingestuft werden konnten.^{34, 35} Dabei spielen neben dem Material für die Stabilität eines Implantates jedoch noch andere Faktoren eine Rolle: So stellte die Europäische Gesellschaft für Keramikimplantologie ESCI in ihrem Statement unter anderem für zweiteilige Keramikimplantate fest (www.esci-online.com): „Die Bruchfestigkeit und mechanische Stabilität von zweiteiligen Zirkonoxidimplantaten kann in Abhängigkeit von unterschiedlichen Herstellungsverfahren, Materialeigenschaften, Implantatgeometrien und prothetischen Verbindungskonzepten variieren“.³⁶

Zusammensetzung von Zirkondioxid

Die besondere mikrokristalline Struktur des Zirkondioxid ist ein weiterer wichtiger Faktor für die Stabilität und die Kenntnisse hierüber sind damit von klinischer Relevanz. Die Kristalle (Grains) des Zirkondioxid liegen zunächst in einer weicheren, instabilen *monoklinen* Phase vor (monoklines Kristallgitter). Im Laufe des Herstellungsprozesses wird diese monokline Phase bei einem Druck von bis zu 2.000 bar und einer Temperatur von 1.170 °C (Hot Isostatic Pressing – HIP) in die gewünschte härtere und stabile *tetragonale Phase* überführt. Man spricht nun von *Tetragonalen Zirkonoxid Polykristallen* – TZP (Abb. 7). Das Volumen der Kristalle reduziert sich dabei um 3–5 %. Diese gewünschte tetragonale Phase hat jedoch das Bestreben unter Energieeinwirkung in die monoklonale Phase zurückzufallen. Dieser Vorgang wird als *Phasentransformation* bezeichnet und geht mit einer Reduktion an Dichte, Zähigkeit und Härte einher.³⁷

Um eine *Phasentransformation* von tetragonal zu monoklonal zu vermindern, werden mit einem Volumenanteil von 2–3 % stabilisierende Oxide (Yttriumoxid) beigemischt. Yttriumoxid erhöht die für die Phasenumwandlung benötigte Energie, wodurch die Phasenumwandlung erschwert wird. Das Material wird nun als Y-TZP bezeichnet.³⁸

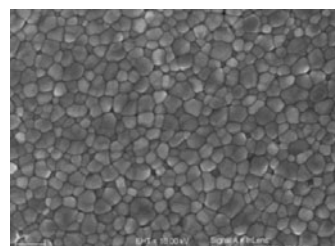


Abb. 7: Kristalline Struktur TZP Keramik

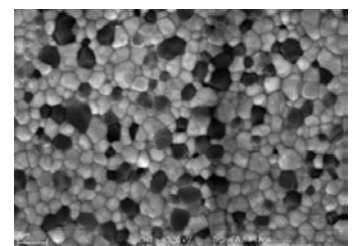


Abb. 8: Aluminiumoxid dient als Stabilisator

Eine besondere Rolle spielt die Phasentransformation im klinischen Alltag. Denn durch das Beschleifen des Zirkondioxides kann unter ungünstigen Umständen genau die Energie in das Material eingebracht werden, die die Entstehung einer Phasentransformation initiiert – das Material wird geschwächt. Durch die Volumenvergrößerung der monoklonalen Kristalle wird jedoch die Rissausbreitung gestoppt (*Selbstheilungseffekt*) (Abb. 9).³⁹ Dies mag erklären, warum manche einteilige Systeme nicht für das Beschleifen durch den Zahnarzt freigegeben sind. Andere Systeme verweisen wiederum auf Studien, die belegen, dass ein Beschleifen der Implantate keinen Einfluss auf die Frakturanfälligkeit habe.⁴⁰

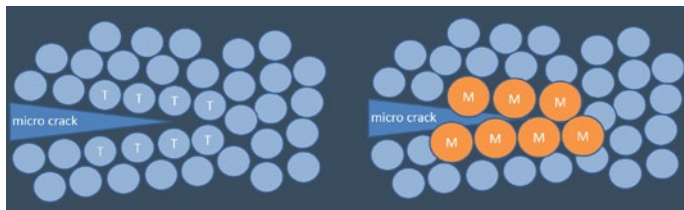


Abb. 9: Phasenumwandlung und Selbstheilung nach Rissentstehung

Moderne Composite Keramiken

Durch weitere Veränderung der Zusammensetzung der Keramik konnten die Materialeigenschaften weiter optimiert werden. So verfügt das ursprüngliche TZP über eine mittlere Biegefestigkeit von 1.100 MPa (Vergleich: Titan 400 MPa, Aluminiumoxid 550 MPa). Durch die Zugabe von bis zu 0,5 Vol.-% Aluminiumoxid wird diese Biegefestigkeit auf 1.200 MPa weiter erhöht.⁴¹ Man spricht nun von TZP-A, das in dieser Form für die meisten heutigen Keramikimplantate verwendet wird.

Die neueste Materialgeneration stellt das Alumina Toughened Zirconia (ATZ) dar. Der Volumenanteil von Aluminiumoxid wurde hierbei auf 20 % erhöht. Aluminiumoxid dient als Stabilisator, vermindert oder blockiert die Rissausbreitung (Abb. 8). Dadurch konnte die Biegefestigkeit mit nun 2.000 MPa nahezu verdoppelt und die Umwandlung von der monoklinen in die tetragonale Phase signifikant verringert werden.^{42, 43}

Aluminiumoxid ist nicht mit der metallischen Form des Aluminiums zu verwechseln. Es spielt in der aktuell geführten Aluminiumdiskussion keine Rolle und ist aus umweltmedizinischer Sicht unbedenklich. Denn auch hier gilt wie eingangs bereits beschrieben: Aluminiumoxid ist als Metalloxid eine Keramik. Die Reaktion mit Sauerstoff ist vollständig und irreversibel: es lässt sich kein metallisches Aluminium freisetzen. Auch bei einem in Gewebs- und Speichelanalysen angegebenen Gehalt an Aluminium handelt es sich um das immunologisch nicht relevante Oxid des Aluminiums. In diesen Verfahren kann nicht die molekulare oder kristalline Einbindung sondern nur das Atom selber detektiert werden.

Herstellungsprozess

Auch der industrielle Herstellungsprozess hat Einfluss auf den langfristigen Erfolg von Keramikimplantaten. Korngröße, Reinheit und Dichte, sowie Größe, Menge und Verteilung möglicher Defekte im Material beeinflussen maßgeblich die Härte und Qualität des Implantates. Zwei grundlegende Verfahren zur Herstellung von Keramikimplantaten sind zu unterscheiden:

Im ersten Verfahren (CIM, Ceramic Injektion Molding) erfolgt zunächst die Formgebung durch Spritzgussverfahren oder Bearbeitung des noch weichen Ausgangsmaterials (Grünlingsbearbeitung). Im zweiten Schritt wird der Rohling durch den Sinterprozess (Brennprozess) gehärtet und veredelt. Dieses Verfahren ist kostengünstig, jedoch muss bis zu 30 % Sinterschrumpfung einbezogen werden, was zu einer höheren Fehleranfälligkeit und Defekteinschlüssen führen kann.

Im zweiten Verfahren (hard machining) ist der Ablauf umgekehrt: zunächst wird ein Block veredelt (gesintert) und erst dann unter hohem industriellen Aufwand die Form aus dem fertigen, harten Rohling (Blank) geschliffen. Dieses Verfahren ist zwar teuer und aufwendiger, jedoch können qualitativ sehr hochwertige und präzise Ergebnisse erzielt werden (Abb. 10).

Spritzguss „CIM Ceramic Injektion Molding“	Grünlingsbearbeitung „CIP-Cold Isostatic Pressing“	Hard Machining „HIP-Hot Isostatic Pressing“
1. Formgebung	1. Formgebung	1. Veredelung
Spritzguss	Beschleifen Grünlings	Sintern HIP hot isostatic post comp. (des Blanks)
2. Veredelung	2. Veredelung	2. Formgebung
Sintern HIP hot isostatic post comp. (der fertigen Form)	Sintern HIP hot isostatic post comp. (der fertigen Form)	Beschleifen des gehärteten Blanks
+	+	+
günstigste Methode für große Serienproduktion	niedrige Kosten hohe Flexibilität	höchste Passgenauigkeit höchste Härte
-	-	-
geringste Härte höchste Fehlerquote	geringe Härte hohe Toleranzen	höhere Kosten aufwendige Herstellung

Abb. 10: Herstellungsverfahren von Zirkondioxidimplantate

Grundlagen der Osseointegration von Keramikimplantaten

Für einen langfristigen Erfolg muss ein Implantat stabil osseointegriert, also fest mit dem Knochen verwachsen sein. Osseointegration ist definiert als belastbarer, struktureller Verbund zwischen vitalem Knochen und Implantatoberfläche. Ein Maß für den Grad der Osseointegration ist der *Bone-Implant-Contact-Wert* (BIC). Je größer der BIC-Wert, desto stabiler ist das Implantat eingeeilt. Glatte Implantatoberflächen weisen einen niedrigen, raue Oberflächen einen höheren BIC-Wert auf. Dies liegt an der vergrößerten Oberfläche und an der ausreichenden Reizsetzung für die Knochenbildung.⁴⁴

So führten die früher noch glatt gestalteten Oberflächen von Keramikimplantaten zu einer geringeren Osseointegration und damit zu höheren Verlustraten. Das Ziel ist es daher, auch bei Keramikimplantaten eine raue Oberfläche für einen höheren BIC zu gestalten und damit eine verbesserte Osseointegration zu erreichen, wie es bereits bei Titanimplantaten der Fall ist. Die ideale Oberflächenrauigkeit liegt bei 1–2 µm.⁴⁵ Ist jedoch

die Bearbeitung einer Titanoberfläche vergleichsweise einfach, müssen bei der industriellen Bearbeitung einer Zirkondioxidoberfläche immer auch mögliche strukturelle Änderungen im Kristallgefüge (Phasentransformation) durch übermäßige Energieeinleitung vermieden werden. Es kommen daher verschiedene Methoden der Oberflächenbearbeitung zur Vergrößerung von Makro- und Mikrostruktur zum Einsatz. Hierzu gehören unter anderem die Schaffung einer rauen Oberfläche direkt über die Gussform im CIM-Verfahren, die Oberflächenmodifikation mittels Laser, das Aufbringen zusätzlicher Beschichtungen sowie Schaffung der Makrostruktur durch Sandstrahlung mit anschließender Mikrostrukturierung durch thermische Oberflächenätzung mit verschiedenen Säuren und resultierenden verschiedenen Ätzmustern (Abb. 11a, Abb 11b).

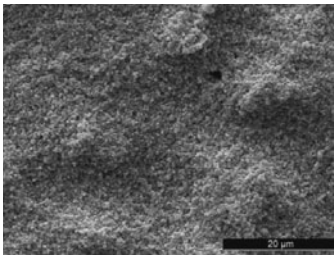


Abb. 11a: Implantatoberfläche Zerafill sandgestrahlt und säuregeätzt

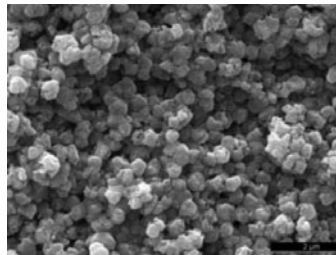


Abb. 11b: Implantatoberfläche Zerafill sandgestrahlt und säuregeätzt Vergrößerung

Letztendlich ist festzuhalten: Tierexperimentelle Studien und verschiedene Übersichtsarbeiten belegen, dass Keramikimplantate mit solchen modernen mikrorauen Oberflächen ähnliche Osseointegrationsraten wie Titanimplantate zeigen^{46, 47, 48} und somit ähnliche Langzeitergebnisse erwarten lassen.

Implantatkonzepte

Die hier beschriebene Entwicklung der Keramikimplantate und deren zunehmende Relevanz in der dentalen Implantologie wurde auch von der Industrie erkannt. Fast alle renommierten Implantatanbieter haben derzeit auch Keramikimplantate in ihr Produktportfolio aufgenommen, was durch hohen Forschungsaufwand zu qualitativ immer hochwertigeren Produkten, jedoch zu unterschiedlichen Versorgungskonzepten führte (Abb. 12).

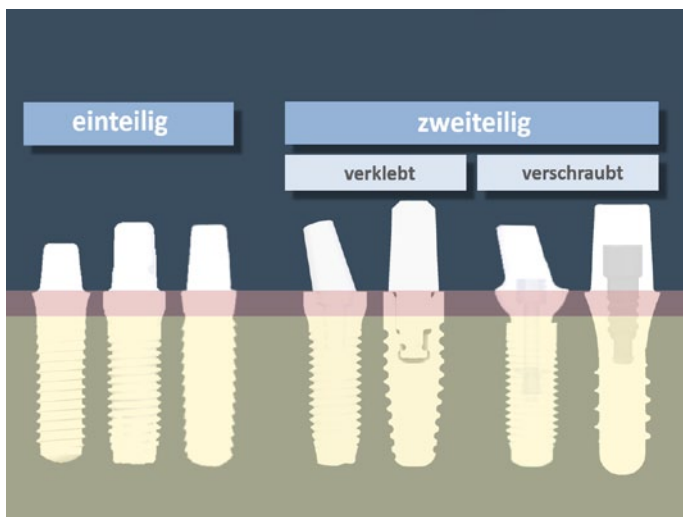


Abb. 12: Versorgungskonzepte

Einteilige Implantate

Die Mehrzahl der heute angebotenen Keramikimplantate sind einteilige Systeme. Sie verfügen aufgrund der längeren Verfügbarkeit über eine bessere Evidenz und Studienlage als zweiteilige Systeme. Durch ein einteiliges Implantat wird das Problem der Implantat-Abutment-Verbindung elegant gelöst: es gibt keine – denn Aufbau und Implantat sind aus einem Stück gefertigt. Es handelt sich um einen homogenen, hermetisch dichten Block, der einen Umgang mit einem Implantat wie mit einem natürlichen Zahn ermöglicht. Sie haben den Vorteil, dass die Versorgung des Implantats der gewohnten Tätigkeit des Zahnarztes mit Abformung und Zementierung der Kronenrestauration eines natürlichen Zahnes sehr nahe kommen. Jedoch handelt es sich eben nicht um einen natürlichen Zahn, sondern um ein Implantat mit seinen zu einem natürlichen Zahn doch unterschiedlichen Aspekten wie Flexibilität, Emergenzprofil, Durchmesserrelation Krone-Wurzel/Implantat oder der Anatomie im gingivalen/mucosalen Sulcus.

Die restaurative Versorgung auf einteiligen Implantaten kann nur durch Zementieren der Restauration erfolgen. Zum einen lässt dies eine in der Implantologie gewünschte Flexibilität und Reversibilität vermissen. Zum anderen bringt es das Risiko einer *Zementitis* (periimplantäre Entzündung durch Zementreste) mit sich: wurde die Implantatschulter tiefer als 1,0–1,5 mm subgingival platziert, sind Zementreste nicht mehr vollständig und zuverlässig entfernbar.⁴⁹ Ebenso muss eine präzise Implantat-Achse (Vermeidung von Phasentransformation durch Beschleifen), eine ausreichende Primärstabilität und eine unbelastete Einheilphase (für sichere Osseointegration) gewährleistet werden. Ausgedehnte Augmentationen sind aufgrund des nicht möglichen Primärverschlusses nur im zweizeitigen Vorgehen zu empfehlen.

Zweiteilige Implantate

Dies sind wichtige Gründe, warum heute auch in der modernen Titan-Implantologie zweiteilige Systeme als Goldstandard gelten und einteilige Titanimplantate nur noch in seltenen spezifischen Indikationen zu finden sind. Zweiteilige Systeme decken fast alle Indikationen ab, ermöglichen unbelastete Einheilphasen sowie sichere, augmentative Verfahren nach primärem Wundverschluss, sie sind reversibel und flexibel (Abb. 13).



Abb. 13: Implantation eines zweiteiligen Keramikimplantats

Wie in der allgemeinen Implantologie geht daher der Trend auch in der Keramikimplantologie zu zweiteiligen Systemen, jedoch verfügen sie im Vergleich zu einteiligen Systemen noch über eine deutlich geringere Evidenz und Studienlage. Nach wie vor stellt dabei die Verbindung von hartem, nicht-elastischem Zirkondioxid-Abutment mit hartem, nicht-elastischem Zirkondioxid-Implantat eine große Herausforderung für die *Zweiteiligkeit* der Systeme dar. Entsprechend werden von den verschiedenen Herstellern teils sehr unterschiedliche Verbindungskonzepte angeboten, die sich bezüglich Frakturanfälligkeit und technischen Komplikationen wie Schraubenlockerungen unterschiedlich bewährt haben.

Verklebte Abutmentverbindung

Bei zweiteilig verklebten Systemen erfolgt die Abutment Verbindung bisher durch Zementieren des Abutments auf dem Implantat. Um Abutmentlockerungen zu vermeiden, sollten für die Befestigung nur kunststoffbasierte Zemente verwendet werden. Mögliche Sensibilisierungen sollten daher bereits im Vorfeld durch LTT und BDT ausgeschlossen werden. Das zweiteilige Implantat wird durch die Abutmentverklebung nach der unbelasteten Einheilphase zum einteiligen Implantat. Die Restauration kann folglich wie bei einem einteiligen Implantat ebenfalls nur zementiert werden, birgt das Risiko einer Zementitis und ist im Falle einer eventuell notwendigen Anpassung nicht mehr reversibel oder flexibel.

Verschraubte Abutmentverbindung

Flexibel und reversibel ist einzig die Verschraubung von Abutment und Implantat, wie es heute Goldstandard bei der restaurativen Versorgung von Titanimplantaten ist. Mit der Abutmentschraube wird das Abutment im Implantatkörper befestigt. Die Vorteile liegen auf der Hand: kein Risiko für Zementüberschüsse durch Entfernbarkeit der Zahnkrone und des Abutments, einfaches Weichgewebsmanagement, Ausformung des Durchtrittsprofiles sowie einfache Reparatur- und Zugangsoptionen.

Die Verschraubung mit den bisher üblichen Metallschrauben aus Gold oder Titan bringt jedoch wiederum neue Herausforderungen mit sich. Keramik ist auf Druck stärker belastbar als auf Zug oder Biegung. Eine Verschraubung kann jedoch solche für den Werkstoff Keramik ungünstige Zug- und Biegekräfte in das Implantat einbringen, was zu internen Spannungsspitzen führen kann. Durch Mikrobewegung der im Vergleich zur Keramik weicheren Metallschraube in dem harten Implantatinnengewinde können zusätzlich Verschleiß und Abrieb an der Schraube entstehen. Entscheidend dürften die Präzision der Herstellung des Implantat-Abutment-Interface und die Schraubenpassung sein, weitere Untersuchungen müssen folgen. Der vom Hersteller vorgesehene Anzugstorque muss in jedem Fall beachtet werden. Auch wenn die Abutmentschraube vollständig von Keramik umgeben ist, sind solche Lösungen aus umweltmedizinischer, aber auch aus Patientensicht nicht mehr vollständig metallfrei. Ob über den Verbindungsspalt zwischen Abutment und Implantat in der Tat keine Abriebs- und Korrosionsprodukte austreten können, bleibt zu prüfen.

Neue Ansätze werden durch metallfreie karbonfaserverstärkte Abutmentschrauben (Vicarbo) verfolgt (Abb. 14), die einen hohen Anzugstorque von bis zu 85 Ncm ermöglichen (klinisch anzuwenden 25 Ncm). Durch abgerundete Gewindegänge sollen interne Spannungsspitzen vermieden werden.



Abb. 14: Zweiteiliges Keramikimplantat mit Keramikabutment, Vicarboschraube und Restauration

Generell bietet das zweiteilige Konzept gegenüber dem einteiligen Vorteile hinsichtlich der prothetischen Flexibilität und der klinischen Indikationen. Sowohl in der Zahnarztpraxis als auch im Dentallabor können die von Titanimplantaten gewohnten Arbeitsabläufe auch für den Umgang mit Keramikimplantaten beibehalten werden, was einen wesentlichen Beitrag zur weiteren Verbreitung und Akzeptanz von Keramikimplantaten leisten wird.

Fazit

Die derzeit verfügbaren Daten zeigen, dass sich Keramikimplantate durch die Weiterentwicklung hinsichtlich Materialstabilität, Oberflächengestaltung und Erfolgsraten den Titanimplantaten angenähert haben. Gewohnte chirurgische und prothetische Protokolle von Titanimplantaten können weitestgehend übernommen werden – neben Evidenz und Zuverlässigkeit ein wichtiges Argument für die zukünftige Akzeptanz von Keramikimplantaten in der zahnärztlichen Implantologie.

Dabei sind jedoch noch sehr konzeptionell unterschiedliche Produkte auf dem Markt verfügbar. Die Auswahl des geeigneten Implantatsystems stellt einen Bestandteil der zahnärztlichen Sorgfaltspflicht dar. Für langfristig klinische Erfolge müssen die aus der Implantologie mit Titanimplantaten bekannten biologischen Prinzipien auch bei der Anwendung von Keramikimplantaten und die Besonderheiten des Materials Zirkondioxid beachtet werden. Die Richtlinien der Hersteller für die Anwendung in den jeweiligen klinischen Indikationen müssen strikt befolgt werden.

Wird dies berücksichtigt, ist heute bereits festzuhalten: Moderne Keramikimplantate stellen nicht zuletzt aus umweltmedizinischer Sicht in der richtigen Indikationsstellung und im richtigen Umgang eine Ergänzung des Behandlungsspektrums in der zahnärztlichen Implantologie dar. Sie werden auch künftig zunehmend an Bedeutung gewinnen, nicht nur in der Rehabilitation chronisch kranker Patienten.

Korrespondenzadresse:

Dr. Jens Tartsch
Vorstand DEGUZ
Kreuzstrasse 2, 8802 Kilchberg/ZH
Schweiz
E-Mail: dr.tartsch@zahnarzt-kilchberg.ch
www.zahnarzt-kilchberg.ch

Literatur

- 1 Buser D et al.: 10-Year Survival and Success Rates of 511 Titanium Implants. *Clin. Impl. Dent.* 2012; 14(6): 839-51
- 2 Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindstrom J: Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1969; 3: 81-100
- 3 ZM-Online, 2018
- 4 Sandhaus S: Technic and instrumentation of the implant CBS (Cristalline Bone Screw). *Informatore Odonto-Stomatologico* 1967; 4 (3): 19-24
- 5 Schulte W, Heimke G: Das Tübinger Sofortimplantat. *Quintessenz* 1976; 27(6): 17-23
- 6 Patientenumfrage Firma Straumann, Archivdaten
- 7 Pieralli S, Kohal RJ, Jung RE, Vach K, Spies BC: Clinical Outcomes of Zirconia Dental Implants A Systematic Review. *J-of Dental Research* 2017; 96(1): 38-46
- 8 Hashim D, Cionca N, Courvoisier D, Mombelli A: A systematic review of the clinical survival of zirconia implants. *Clin Oral Invest* 2016; 20(7): 1403-17
- 9 Jung R et al.: In vitro color changes of soft tissues caused by restorative materials. *Int. J. of Period. and Rest. Dent.* 2007; Vol. 27, No. 3
- 10 Stimmelmayer M et al.: Wear at the titanium-titanium and the titanium-zirconia implant-abutment interface. *Dent Mater.* 2012; 28(12): 1215-20
- 11 Derks J et al.: Effectiveness of implant therapy analyzed in a swedish population prevalence of periimplantitis. *J Dent Res.* 2015; 94(3 Suppl): 44-51
- 12 Mombelli A, Müller N, Cionca N: The epidemiology of periimplantitis. *Clin. Oral. Implant. Res.* 2012; 23(Suppl) 6: 67-76
- 13 Berglundh T et al.: Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol* 2018; 45(Suppl 20): 286-291
- 14 DGI-Sommersymposiums am 18. Juni 2016 in Frankfurt/Main
- 15 Olmedo D, Tasat DR, Evelson P, Guglielmotti MB, Cabrini RL: Biological response of tissues with macrophagic activity to titanium dioxide. *Journal of Biomedical Materials Research Part A Volume* 2008; 84(4): 1087-93
- 16 X H et al.: Analysis of titanium and other metals in human jawbones with dental implants. *Dent Mater* 2016; 32(8): 1042-51
- 17 Foti B, Tavitian P, Tosello A, Bonfil JJ, Franquin JC: Polymetallism and osseointegration in oral implantology: pilot study on primate. *J Oral Rehabil.* 1999; 26(6): 495-502
- 18 Pettersson M, Kelk P, Belibasakis GN, Bylund D, Molin Thoren M, Johansson A: Titanium ions form particles that activate and execute interleukin-1b release from lipopolysaccharide-primed macrophages. *J Periodont Res* 2016; 52(1): 21-32
- 19 Yu F, Addison O, Baker SJ, Davenport AJ: Lipopolysaccharide inhibits or accelerates biomedical titanium corrosion depending on environmental acidity. *International Journal of Oral Science* 2015; 7: 179-186
- 20 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(4): 537-43
- 21 Harloff T et al.: Titanium allergy or not? "Impurity" of titanium implant materials. *Health* 2010; Vol. 2, No. 4: 306-310
- 22 Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A: Bacterial Adhesion on Commercially Pure Titanium and Zirconium Oxide Disks: An In Vivo Human Study. *J Periodontol* 2004; 75: 292-296
- 23 Ichikawa Y, Akagawa Y, Nikai H, Tsuru H: Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 322-326
- 24 Roehling S et al.: In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implant Surfaces. *J Periodontol* 2016; 88(3): 298-307
- 25 Kajiwara N. et al.: Soft Tissue Biological Response to Zirconia and metal implant abutments. *Implant Dent* 2015; 24(1): 37-41
- 26 Mombelli C et al.: Pro-inflammatory cytokines at zirconia implants and teeth. A cross-sectional assessment. *Clin Oral Investig.* 2016; 20(8): 2285-2291
- 27 Spies C, Vach K, Kohal R-F, Hämmerle CHF, Jung RE: Three-year analysis of zirconia implants for single-tooth replacement and three-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res.* 2018; 29(3): 290-299
- 28 Janner S, Gahlert M, Bosshardt D, Roehling S, Milz S, Higginbottom F, Buser D, Cochran DL: Bone response to functionally loaded, two-piece zirconia implants: A preclinical histometric study. *Clin Oral Implants Res.* 2018; 29(3): 277-289
- 29 Roehling S, Gahlert M, Janner S, Meng B, Woelfler H, Cochran DL: Ligature-induced Peri-implant bone loss around loaded zirconia and titanium implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019; 34(2): 357-365
- 30 Zipprich H, Weigl P, König E, Toderas A, Balaban Ü, Ratka C: Heat Generation at the Implant–Bone Interface by Insertion of Ceramic and Titanium Implants. *J. Clin. Med.* 2019; 8: 1541
- 31 Schwarz F: Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and periimplantitis at zirconia implants: a prospective case series. *J Clin Periodontol* 2015; 42: 783-788
- 32 Kohal RJ, Patzelt SB, Butz F, Sahlin H: One-piece zirconia oral implants: one-year results from a prospective case series. 2. Three-unit fixed dental prosthesis (FDP) reconstruction. *J Clin Periodontol.* 2013; 40(5): 553-62
- 33 Roehling S, Schlegel K, Woelfler H, Gahlert M: Performance and outcome of zirconia dental implants in clinical studies: A meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2018; 10(29): 135-153
- 34 Tim Jodaa et al.: Ultimate force and stiffness of 2-piece zirconium dioxide implants with screw-retained monolithic lithium-disilicate reconstructions. *Journal of Prosthodontic Research* 2018; 62(2): 258-263
- 35 Spies BC et al.: Stability and aging resistance of a zirconia oral implant using a carbon fiber-reinforced screwfor implant-abutment connection. *Dent Mater* 2018; 34(10): 1585-1595
- 36 Röhling S, Chevalier J, Kohal R, Tartsch J, Payer M, Özcan M, et al.: ESCI Statement "two piece ceramic implants". *ESCI* 2021
- 37 Chevalier J, Loh J et al.: Low Temperature Degradation in Zirconia with porous Surface. *Acta Biomater* 2011; 7: 2986-2993
- 38 Ried PH, Reed JS: Fabrication and Flexural Strength of Ultra-Fine Grained Ytria-Stabilised Zirconia. *Bull Am Cer Soc.* 1976; 55: 717-721
- 39 Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV: Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Materials* 2004; 20(5): 449-56
- 40 Spies BC et al.: Alumina reinforced zirconia implants: Effects of cyclic loading and abutment modification on fracture resistance. *Dent Mater* 2015; 31(3): 262-72
- 41 Metoxit AG, Thayngen, Schweiz. Datenblatt nach DIN EN 60 672
- 42 Chevalier J: What future for zirconia as a biomaterial. *Biomaterials* 2006; 27: 535–543
- 43 Schneider J et al.: Low-Temperature Aging Behavior of Alumina-Toughened Zirconia. *Am. Ceram. Soc.* 2008; 91(11): 3613-3618
- 44 Buser D, Schenk RK, Steinemann S, Fiorellini JP, Fox CH, Stich H: Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs. *J Biomed Mater Res* 1991; 25(7): 889-902
- 45 Wennerberg A, Albrektsson T: Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2009; 20 (Suppl 4): 172-84
- 46 Kohal R. et al.: Was wissen wir über Implantate aus Zirkonoxid? *Implantologie* 2014; 22(1): 9-36
- 47 Bosshardt D, Buser D, Saulacic N et al.: Acid and alkaline etching of sandblasted zirconia implants a histomorphometric study in miniature pigs. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 2013; 16(3): 313-22
- 48 Chappuis V, Cavusoglu Y, Gruber R, Kuchler U, Buser D, Bosshardt DD: Osseointegration of zirconia and titanium implants in the presence of multinucleated giant cells. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 2015; 18(4): 686-98
- 49 Vindasiute E, Linkevicius T et al.: Clinical Factors Influencing Removal of the Cement Excess in Implant-Supported Restorations. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013; 17(4): 771-8