KERAMIK IN DER IMPLANTOLOGIE

Implantate und Abutments aus Titan sind aufgrund ihrer hohen Biokompatibilität und Biegefestigkeit sowie der guten Osseointegration State of the Art in der Implantologie. Besonders im Frontzahnbereich stoßen metallische Implantatmaterialien in ästhetischer Hinsicht aber an ihre Grenzen. Eine Alternative zu Titan stellen keramische Werkstoffe auf Zirkondioxid-Basis dar, die zunächst in der orthopädischen Chirurgie u.a. zur Herstellung von Hüftprothesen erfolgreich eingesetzt wurden und seit etwa zehn Jahren auch in der Zahnmedizin Praxisreife erreicht haben. Dabei verfügen beispielsweise mittels Yttrium stabilisierte, bzw. partiell stabilisierte Zirkondioxid-Keramiken neben den grundsätzlich guten ästhetischen Eigenschaften von Zirkondioxid-Keramik [Brodbeck, 2003; Kohal and Klaus, 2004] nach Ansicht einiger Autoren über eine hohe Biege- und Bruchfestigkeit [Guess et al., 2012; Manicone et al., 2007], die jedoch durch die Ergebnisse von in vitro-Studien nicht bestätigt werden können [Andreiotelli and Kohal, 2009]. Die in einer Finite Elemente Analyse festgestellten, im Vergleich zu Titan-Implantaten geringeren Spannungsübertragungen von Yttrium-stabilisierten Zirkondioxid-Implantaten auf das umliegende Knochengewebe [Caglar et al., 2011], konnten in anderen in vitro-Studien ebenfalls nicht bestätigt werden [Chang et al., 2012; Kohal et al., 2002]. In klinischen Studien wird von guten Überlebensraten berichtet, die bis zu 100% im ortsständigen Knochen betragen können [Borgonovo et al., 2012], jedoch im augmentierten Knochen mit bis zu 74% deutlich schlechter ausfallen [Borgonovo et al., 2010]. Da solche und andere Untersuchungen jedoch meist ohne Vergleichsgruppe und mit verhältnismäßig wenigen Probanden durchgeführt wurden, müssen sowohl die Erfolgs- wie auch Misserfolgsraten mit Vorsicht interpretiert werden. Die Autoren eines systematischen Reviews aus 2008 kommen sogar zum Schluss, dass eine uneingeschränkte Verwendung aufgrund der fehlenden Langzeitergebnisse zum damaligen Zeitpunkt nicht empfohlen werden kann [Wenz et al., 2008].

Zahlreiche aktuelle in vitro-Untersuchungen und tierexperimentelle Studien beschäftigen sich mit der Biokompatibilität und der Osseointegration von Zirkondioxid-Keramik mit unterschiedlichen chemischen Modifikationen (Sinterung, Mischung mit anderen Metall-Oxiden und Hydroxyl-Apatit, etc.) und Oberflächen-Designs. Die Einlagerung von Silberpartikeln soll beispielsweise zu einer potentiellen Reduktion periimplantärer Infektionen und einer guten Osseointegration führen [Miranda et al., 2012]. Einen ähnlichen Effekt sollen gesandstrahlte oder/und geätzte Oberflächen haben, die durch ihre homogene Oberflächenstruktur zu einer histologisch sichtbaren, beschleunigten Osseointegration beitragen sollen. Verschiedene in vitro- und tierexperimentelle Studien zeigen eine den Titan-Implantaten überlegene und beschleunigte Osseointegration [Bacchelli et al., 2009; Hempel et al., 2010; Kunert-Keil et al., 2012], die jedoch in anderen Untersuchungen nicht bestätigt werden konnte [Depprich et al., 2008a; Depprich et al., 2008b; Koch et al., 2010; Moller et al., 2012]. Während in mehreren tierexperimentellen Studien mittels Ausdrehmoment-Messungen keine signifikanten Unterschiede zwischen Zirkondioxid- und Titan-Implantaten mit

gleicher Oberflächenrauigkeit [Bormann et al., 2012; Gahlert et al., 2012b; Kohal et al., 2004; Sennerby et al., 2005] oder sogar ein höherer Torque bei Titan-Implantaten [Ferguson et al., 2008; Gahlert et al., 2007; Hoffmann et al., 2012; Schliephake et al., 2010] ermittelt wurden, ergaben zwei aktuelle Studien zur Ausdrehfestigkeit von Zirkondioxid-Implantaten mit neuartigen, gesinterten oder mikrostrukturierten Oberflächen im Tiermodell jedoch signifikant erhöhte Torque-Werte im Vergleich zu Titan-Implantaten [Bormann et al., 2012; Park et al., 2012]. Verschiedene in vitro- und klinische Humanstudien beschäftigten sich mit Unterschieden im Adhäsionsverhalten und Veränderungen in der Zusammensetzung des bakteriellen Biofilms in Abhängigkeit vom Material und dessen Oberflächenrauigkeit. Dabei war in vitro bei Implantaten aus Zirkondioxid im Vergleich zu Titan eine Zunahme des Biofilms in Abhängigkeit von der Oberflächenrauigkeit feststellbar, während die bakterielle Zusammensetzung nicht signifikant beeinflusst wurde [Al-Ahmad et al., 2010]. Zu anderen Ergebnissen kommen zwei in vivo-Studien, in welchen auf Titan eine höhere Anzahl Bakterien und eine höhere metabolische bakterielle Aktivität festgestellt werden konnten [Groessner-Schreiber et al., 2004; Scarano et al., 2004]. Auch in einem systematischen Review wird von einer geringeren frühen Plaqueakkumulation auf Zirkondioxid gegenüber Titan-Implantaten berichtet [Nakamura et al., 2010]. Signifikante Unterschiede hinsichtlich der periimplantären Weichgewebsreaktion waren in einer klinischen Humanstudie zwischen Abutments aus Titan und Zirkondioxid nicht feststellbar [van Brakel et al., 2012]. Die Wahl des Abutment-Materials scheint ebenfalls keinen Einfluss auf das krestale Knochenlevel zu haben, wie in einem systematischen Review zu lesen ist [Linkevicius and Apse, 2008]. In einer aktuellen klinischen Humanstudie zu einteiligen Implantatsystemen aus Zirkondioxid konnte ein relativ geringer krestaler Knochenverlust ermittelt werden [Payer et al., 2012], der erhöht war, jedoch in einer weiteren klinischen Studie nicht bestätigt werden konnte [Kohal et al., 2012]. Zirkondioxid- und Titan-Abutments scheinen sich hinsichtlich ihrer Bruchfestigkeit nicht voneinander zu unterscheiden, wie ein weiteres systematisches Review ergab [Sailer et al., 2009]. Die Bruch- und Biegefestigkeit kann durch Schwachstellen im Material, die bei der Herstellung oder bei unsachgemäßem Umgang mit Zirkondioxid-Keramik sowie bei Präparation im Implantatkopf- und Abutmentbereich entstehen können, negativ beeinflusst werden [Gahlert et al., 2012a; Kohal et al., 2010; Kohal et al., 2011; Luthardt et al., 2002; Siarampi et al., 2012].

Grundsätzlich lässt sich anhand der vorliegenden Literaturauswahl trotz der teilweise widersprüchlichen Studienergebnisse erkennen, dass auf Grundlage der aktuellen materialspezifischen Weiterentwicklungen und der zunehmenden klinischen Expertise im Umgang mit Implantaten, Abutments und auch prothetischen Suprakonstruktionen auf Zirkondioxid-Basis, das Material bei richtiger Indikationsstellung zu einer guten und in ästhetischer Hinsicht hervorragende Alternative zu Implantat-Versorgungen aus Titan und Restaurationen aus Verblendkeramik sein kann.

Narrative Reviews/Aufsätze

Parente P, Sánchez-Herencia AJ, Mesa MJ, Ferrari B. Functionalizing Ti-Surfaces through the EPD of HA/NanoY(2)O(3). J Phys Chem B. 2012 Nov 9. [Epub ahead of print]

(»Funktionalisierung von Titanoberflächen durch die elektrophoretische Abscheidung von Hydroxyl-Apatit und Yttrium-Trioxid.«)

Die Verwendung von Materialien aus Keramik zur Instandsetzung und Rekonstruktion des menschlichen Skeletts in unterschiedlichen Anwendungsbereichen einen hohen Verbreitungsgrad erreicht. Metallbeschichtungen mit neuen Eigenschaften und Zusammensetzungen sollen dazu beitragen, die Osseointegration zu fördern. In diesem Zusammenhang hat die Nanotechnologie eine Schlüsselposition, denn durch die Veränderungen der Nanostruktur von Implantatoberflächen wird eine Verbesserung der thermischen und/oder mechanischen Eigenschaften der Implantate ermöglicht.

Guess PC, Att W, Strub JR.
Zirconia in fixed implant prosthodontics.
Clin Implant Dent Relat Res. 2012 Oct:14(5):633-45.

(»Zirkondioxid bei festsitzenden prothetischen Versorgungen.«)

Mittels dieses narrativen Reviews sollen das aktuell verfügbare Wissen zu Zirkondioxid als Material für Abutments und implantatgestützten prothetischen Restaurationen sowie mögliche zukünftige Entwicklungen dargestellt werden. Dazu wurde eine Literaturrecherche zu relevanter Literatur, die zwischen 1990 und 2010 veröffentlicht wurde, mit den Schlagworten "Zirkondioxid", "Implantate", "Kronen" sowie "festsitzender Zahnersatz" in der elektronischen Literaturdatenbank PubMed und mittels Handsuche durchgeführt. In der Literatur wird über die hohe Biokompatibilität, gute chemische Eigenschaften, eine hohe Festigkeit bei Verwendung als Material für Abutments oder Gerüstmaterial für Implantatkronen und eine geringe Tendenz zu bakterieller Adhäsion berichtet. Mittels Yttrium stabilisiertes Zirkondioxid verfügt über eine hohe Biege- und Bruchfestigkeit. Berichte über Frakturen von Zirkondioxid-Abutments oder -Gerüsten sind selten. Die häufigsten technischen Komplikationen stellen Frakturen von Keramikverblendungen auf Käppchen aus Zirkondioxid dar, die auf unterschiedliche thermische Expansionskoeffizienten zurückzuführen sind.

Schlussfolgerung: Trotz der guten klinischen Eigenschaften und bisherigen Erfahrungen mit Zirkondioxid fehlen Langzeitergebnisse, die den extensiven Einsatz dieses Materials zum jetzigen Zeitpunkt stützen könnten.

Millen C, Bhatia K, Ibbetson R. Laboratory aspects of zirconia restorations. Dent Update. 2012 Jun;39(5):342-4, 347-50, 353-4 passim. (»Laboraspekte bei Restaurationen aus Zirkon.«)

Restaurationen aus Zirkondioxid werden in der Zahnheilkunde mittlerweile akzeptiert und häufig verwendet. Durch hydrothermische Alterungsprozesse jedoch können die klinischen Eigenschaften des Materials negativ beeinflusst werden. Das richtige Handling ist dabei grundlegend wichtig, um die Anfälligkeit des Materials gegenüber temperaturbedingten Veränderungen der positiven Materialeigenschaften zu begrenzen. Durch die richtige klinische Indikationsstellung und Bearbeitung im Labor ist es möglich ästhetische, widerstandsfähige und lang haltbare Versorgungen herzustellen.

Brodbeck U.
The ZiReal Post: A new co

The ZiReal Post: A new ceramic implant abutment. J Esthet Restor Dent. 2003;15(1):10-23; discussion 24.

(»Der ZiReal Post: Ein neues Implantat-Abutment aus Keramik.«)

Implantatversorgungen im anterioren, sichtbaren Bereich sind mit hohen Anforderungen während der chirurgischen und prothetisch-rekonstruktiven Phase der Therapie verbunden. Titan hat sich bei Implantattherapien als das Material der Wahl durchgesetzt. Bei zahlreichen Implantatsystemen kommen transmukosale Abutments zum Einsatz, die in den meisten Fällen ebenfalls aus Titan gefertigt sind, obwohl Keramik das in ästhetischer Hinsicht

bessere Material wäre. Die Kombination von Abutments und Kronen aus Keramik führt zu einer natürlichen Transluzenz und zu besseren ästhetischen Ergebnissen als die Verwendung metallischer Abutments und Kronen aus Metallkeramik, die häufig grau durch die periimplantären Weichgewebe hindurchschimmern. Schließlich können maßgeschneiderte, individuelle Emergenzprofile mittels Keramik-Abutments hergestellt werden, was zu einer besseren Vorhersehbarkeit des ästhetischen Ergebnisses und zu einer guten Biokompatibilität bei der Implantattherapie führt.

Denry I, Kelly JR.
State of the art of zirconia for dental applications.
Dent Mater. 2008 Mar;24(3):299-307.

(»Stand der Technik des Einsatzes von Zirkondioxid in der Zahnmedizin.«)

Zirkondioxid wurde jüngst als Material zur Herstellung von Kronen und festsitzendem Zahnersatz in Verbindung mit der der CAD/CAM-Technik in die zahnärztliche Prothetik eingeführt. Der vorliegende Übersichtsartikel beschäftigt sich mit den unterschiedlichen Arten und Eigenschaften von Zirkondioxid, das gegenwärtig in der Zahnheilkunde verwendet wird. Die beiden hauptsächlich zur Herstellung verwendeten Techniken der Weich- und Hartbearbeitung von Zirkondioxid werden hinsichtlich ihrer möglichen klinischen Langzeit-Auswirkungen untersucht und es wird der aktuelle Stand klinischer Studien präsentiert.

Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications.

J Dent. 2007 Nov;35(11):819-26.

(»Eine Übersichtsarbeit zu Zirkondioxid-Keramik: Grundlegende Eigenschaften und klinische Einsatzmöglichkeiten.«)

Zirkondioxid (ZrO2) ist eine Keramik, die sich gut zur Herstellung von Medizinprodukten eignet. Mittels Yttrium Trioxid stabilisiertes Zirkondioxid besitzt dabei die besten Eigenschaften und wurde insbesondere in der Orthopädie zur Herstellung von Hüftprothesen eingesetzt. Eine Kristallmodifikation verhindert die Entstehung von Rissen auf ZrO2-Oberflächen bei Belastungen von bis zu 2000 MPa. Sowohl bei in vivo-, als auch bei in vitro-Untersuchungen zeigten, dass ZrO2 über eine gute Biokompatibilität verfügt und nicht zu adversen Reaktionen im Gewebe führt. In der Zahnmedizin werden Gerüste aus ZrO2 mittels CAD/ CAM-Technologien zur Herstellung von mittels Adhäsivtechnik eingesetzter, festsitzender prothetischer Restaurationen verwendet. ZrO2 verfügt über eine ausreichende Opazität und kann sehr gut zur "Maskierung" verfärbter Pfeilerzähne verwendet werden. Eine gute Radioopazität erleichtert die Röntgendiagnostik von Restaurationen aus ZrO2. Die mechanischen Eigenschaften prothetischer Versorgungen aus ZrO2 haben sich als überlegen gegenüber anderen vollkeramischen Restaurationen herausgestellt. Abutments aus ZrO2 führen zu guten ästhetischen Ergebnissen bei der Versorgung mit implantatgestütztem Zahnersatz. Implantate aus ZrO2 scheinen über gute biologische und mechanische Eigenschaften zu verfügen, es sind jedoch noch weitere Studien notwendig, um die vorläufigen Ergebnisse zu ihren Einsatzmöglichkeiten zu stützen.

Van Dooren E, Calamita M, Calgaro M, Coachman C, Ferencz JL, Pinho C, Silva NR.

Mechanical, biological and clinical aspects of zirconia implants. Eur J Esthet Dent. 2012 Winter;7(4):396-417.

(»Mechanische, biologische und klinische Aspekte bei Implantaten aus Zirkondioxid.«)

Das Ziel der vorliegenden narrativen Übersichtsarbeit liegt in der Diskussion verschiedener in vitro- und in vivo-Studien, die sich mit dem Verhalten einteiliger Implantate aus Zirkondioxid beschäftigen. Es werden zwei verschiedene klinische Szenarien dargestellt, in welchen die möglichen wissenschaftlichen und klinischen Problemstellungen hinsichtlich der funktionellen, biologischen und ästhetischen Langzeitergebnisse von Implantat-Prototypen aus Zirkondioxid beleuchtet werden.

Fallberichte

Pirker W, Kocher A.

Immediate, non-submerged, root-analogue zirconia implant in single tooth replacement.

Int J Oral Maxillofac Surg. 2008 Mar;37(3):293-5.

(»Sofortimplantation und offene Einheilung eines wurzelförmigen Zirkondioxid-Implantats zur Versorgung einer Einzelzahnlükke.«)

Der vorliegende Bericht demonstriert den erfolgreichen Einsatz eines modifizierten, wurzelähnlichen Implantats aus Zirkondioxid mit rauer Oberfläche und Makroretentionen im Interdentalbereich zum Ersatz eines rechten oberen Prämolaren, vier Tage post extractionem. Während der Einheilungsphase traten keinerlei Komplikationen auf. Vier Monate nach Implantatinsertion erfolgte die Versorgung mit einer Krone aus Komposit, die zu einem sehr guten ästhetischen und funktionellen Ergebnis führte. Nach Ablauf von 26 Monaten nach Insertion des Implantats konnten weder ein Knochenabbau, noch ein Verlust von periimplantärem Weichgewebe beobachtet werden. Die im Implantat integrierten Makroretentionen scheinen zu einer guten Primärstabilität und Osseointegration bei Sofortversorgungen mit wurzelähnlichen Zirkondioxid-Implantaten zu führen.

Osman RB, Ma S, Duncan W, De Silva RK, Siddiqi A, Swain MV. Fractured zirconia implants and related implant designs: scanning electron microscopy analysis.

Clin Oral Implants Res. 2012 Jan 26. [Epub ahead of print]

(»Frakturierte Zirkondioxid-Implantate und Zusammenhänge zum Implantat-Design: Eine rasterelektronenmikroskopische Analyse.«)

Zwei frakturierte einteilige und nur für experimentelle Zwecke hergestellte Implantate aus Zirkondioxid wurden rasterelektronenmikroskopisch analysiert, um die Ursache für die Fraktur zu ermitteln und um dadurch zu einem besseren Verständnis der Frakturmechanismen beizutragen. Beide Implantate waren beim Einbringen in den Oberkiefer-Alveolarfortsatz zweier Patienten in der finalen Phase des Anzugdrehmoments frakturiert und mussten entfernt werden. Die Ursache für die Fraktur der beiden Implantate lag an den ungünstigen Dreh- und Biegekräften in Verbindung mit Schwachstellen im Implantat-Material.

Schlussfolgerung: Implantate aus Zirkondioxid sollten in Bereichen höherer Knochendichte mit großer Vorsicht eingebracht werden. Die Frakturwahrscheinlichkeit kann durch Verbesserungen im Design und einer strikten Qualitätskontrolle bei der Fertigung der Implantate gesenkt werden.

Kohal RJ, Klaus G.

A zirconia implant-crown system: a case report.

Int J Periodontics Restorative Dent. 2004 Apr;24(2):147-53.

(»Ein Implantat-Kronen-System aus Zirkondioxid: Ein Fallbericht.«)

Sichtbare Kronenränder aus Metall stellen bei Verblendkronen aus Metallkeramik häufig ein ästhetisches Problem dar. Auch Titan-Implantate, die gräulich durch die periimplantären Weichgewebe hindurch schimmern oder bei Retraktion der Gingiva sichtbar werden können, beeinträchtigen das ästhetische Erscheinungsbild der gesamten implantatgestützten Rekonstruktion. Zirkondioxid ist ein Material, das durch seine Biokompatibilität sowie seinen ästhetischen und mechanischen Eigenschaften zu besseren ästhetischen Ergebnissen als konventionelle Versorgungen mit Titan-Implantaten und Metallkeramikkronen. Im vorliegenden Artikel wird anhand eines Patientenfalles eine Einzelzahnversorgung mit einem Implantat und einer Vollkeramikkrone aus Zirkondioxid vorgestellt.

Nevins M, Camelo M, Nevins ML, Schupbach P, Kim DM.
Pilot clinical and histologic evaluations of a two-piece zirconia implant.

Int J Periodontics Restorative Dent. 2011 Apr;31(2):157-63.

(»Eine Klinische und histologische Modellevaluation eines zweiteiligen Zirkondioxid-Implantats.«)

Im vorliegenden Fallbericht wurde eine gesunde, weibliche Patientin mit konventionellen Implantaten aus Titan sowie einem zweiteiligen Zirkondioxid-Implantat mit Plattform Switching zur Aufnahme einer Krone versorgt, um die klinischen und histologischen Auswirkungen des Zirkondioxids auf die Heilungsprozesse im periimplantären Knochen und Weichgewebe zu untersuchen. Die klinische und radiologische Untersuchung 6 Monate nach Insertion der Implantate ergab eine stabile Osseointegration aller Implantate. Licht- und rasterelektronenmikroskopische Analysen von Biopsie-Präparaten ergaben eine gute Biokompatibilität und eine Osseointegration des Implantates aus Zirkondioxid okklusal des Implantat-Abutment Interface. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass der Implantat-Knochen-Kontakt bei Implantaten aus Zirkondioxid ausreichend für den klinischen Einsatz geeignet ist und dass durch das Ausmaß der knöchernen Integration die klinische Relevanz von Mikrospalten im Bereich des Abutment-Implantat-Interface zu reduzieren imstande ist.

In vitro-Studien/Materialstudien

Miranda M, Fernández A, Lopez-Esteban S, Malpartida F, Moya JS, Torrecillas R.

Ceramic/metal biocidal nanocomposites for bone-related applications.

I Mater Sci Mater Med. 2012 Jul;23(7):1655-62.

(»Keramisch/Metallische und bakterizid wirkende Nanoverbundwerkstoffe für den Einsatz im Knochenbereich.«)

Der Nanoverbund zwischen Hydroxyl-Apatit und Silber wurde für den biomedizinischen Einsatz entwickelt. Die Matrix aus Hydroxyl-Apatit wurde mittels des Sol-Gel Verfahrens synthetisiert und die Silberpartikel wurden anschließend mittels thermischer oder chemischer Fällung eingelagert. Die Analyse beider Verfahren zeigte, dass die metallischen Nanopartikel stets vollständig voneinander isoliert auf der Hydroxyl-Apatit-Oberfläche hafteten. Durch eine mittlere Partikelgröße von weniger als 10 nm wurde eine große Kontaktfläche zwischen Silber und Mikroorganismen ermöglicht, die zu einer hocheffektiven antimikrobiellen Wirkung gegenüber den meisten Bakterienarten führte. Nach den Tests war festzustellen, dass eine nur vernachlässigbar geringe Menge der Metallkomponente freigesetzt worden war, was auf den Nanoverbund zurückgeführt wurde. Der hier vorgestellte Nanoverbund zwischen Hydroxyl-Apatit und Silber bietet eine Möglichkeit, Infektionen im Bereich von Implantatoberflächen zu verhindern, die eines der größten Probleme bei der Osseointegration von Implantaten darstellen.

Kunert-Keil C, Gredes T, Richter DU, Szyba M, Dominiak M, Gedrange T.

The survival and proliferation of fibroblasts on ceramic implants: an in vitro study.

Biomed Tech (Berl). 2012 Jan 14;57(1):11-5.

(»Die Überlebens- und Proliferationsrate von Fibroblasten auf Keramikimplantaten: Eine In vitro-Untersuchung.«)

Veränderungen der chemischen Eigenschaften und der Oberflächenrauigkeit von Implantaten sollten zur Verbesserung ihrer Osseointegration beitragen. Das Ziel dieser Studie war die in vitro-Untersuchung der Biokompatibilität eines Implantates mit verschiedenen Oberflächenmodifikationen im Vergleich zu marktüblichen Implantaten aus Zirkondioxid und Titan. Dazu wurde die Lebendzellzahl nach Ablauf von 21 Tagen bestimmt und in Korrelation mit der Oberflächenstruktur gesetzt. Bei Implantaten, deren Oberflächen kombiniert gesandstrahlt/geätzt oder nur gesandstrahlt wurden, konnte eine bis zu 1,29fache Erhöhung der Lebendzellzahl im Vergleich zu unbehandelten Zellkulturen ermittelt werden, während sich die Lebendzellzahl im Umfeld von konventionellen Implantaten und Implantaten mit geätzter Oberfläche nicht unterschied. Die bessere Biokompatibilität der Implantate mit kombiniert gesandstrahlt/geätzten oder nur gesandstrahlten Oberflächen kann auf die Homogenität der Oberflächenstruktur zurückgeführt werden, die auch zu einer Beschleunigung der Osseointegration beiträgt.

Siarampi E, Kontonasaki E, Papadopoulou L, Kantiranis N, Zorba T, Paraskevopoulos KM, Koidis P.

Flexural strength and the probability of failure of cold isostatic pressed zirconia core ceramics.

J Prosthet Dent. 2012 Aug;108(2):84-95.

(»Biegefestigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von isostatisch kaltgepressten Gerüsten aus Zirkondioxid-Keramik.«)

Gerüste aus Zirkondioxid-Keramik müssen eine hohe Biegefestigkeit aufweisen, um den hohen Belastungen in der Mundhöhle verlässlich standzuhalten. Das Ziel der Studie waren die Ermittlung der Biegefestigkeit und die Überlebenswahrscheinlichkeit zweier unterschiedlicher Zirkondioxid-Gerüste. Dazu wurden 20 stabförmige Prüfkörper aus den Zirkondioxid-Präparaten IPS e.max ZirCAD (IZ) und Wieland ZENO Zr (WZ) gefräst und anschlie-Bend nach ISO 6872 bis zur Fraktur belastet. Zur Messung signifikanter Unterschiede bezüglich der Bruchfestigkeit wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt (alpha=0,05). Die Biegefestigkeit wurde mittels Weibull-Analyse der beiden Effektschätzer Weibull-Modul (m) und der charakteristischen Festigkeit ermittelt. Die Frakturflächen der Prüfkörper wurden mittels Elektronenmikroskop (SEM) und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS) untersucht. Der kristallografische Zustand der Prüfkörper wurde anhand einer Röntgenbeugungsanalyse (XRD) und einer Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) ermittelt. Signifikant höhere Biegefestigkeits- und charakteristische Festigkeitswerte wurden bei der WZ-Keramik gemessen (p<0,001). IZ-Keramiken zeigten dagegen ein höheres Weibull-Modul und eine Mikrostruktur mit weniger Hohlräumen und Poren. Beide Gruppen bestanden in erster Linie aus Zirkonium der tetragonalen Kristallphase und weniger aus monokliner Kristallphase.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse deuten auf eine größere Streuung der Festigkeitswerte und der Schwachstellen der Präparate hin, die zu erhöhten Versagenswahrscheinlichkeiten führen können.

Leutert CR, Stawarczyk B, Truninger TC, Hämmerle CH, Sailer I. Bending moments and types of failure of zirconia and titanium abutments with internal implant-abutment connections: a laboratory study.

Int | Oral Maxillofac Implants. 2012 May-Jun; 27(3):505-12.

(»Biegemoment und Fehlertypen bei Abutments aus Zirkondioxid und Titan mit interner Implantat-Abutment-Verbindung: Eine Laboruntersuchung.«)

Das Ziel der Studie war, das Biegemoment und Frakturmuster bei verschiedenen Abutments aus Zirkondioxid und unterschiedlichen internen Implantat-Abutment-Verbindungen zu ermitteln und mit Titan-Abutments - ebenfalls mit einer internen Verbindung - miteinander zu vergleichen. In die Untersuchung wurden drei Arten individuell hergestellter Zirkondioxid-Abutments (Straumann CARES abutments/Straumann BL implants [T1], Astra ZirDesign abutments/Astra Micro Thread OsseoSpeed implants [T2], Zirabut prototype abutments/Straumann SP implants [T3]) und ein individuell hergestelltes Titan-Abutment als Kontrollgruppe (Straumann CARES abutments/Straumann BL implants [C]) einbezogen. In jeder Gruppe wurden 20 identische Kopien des jeweiligen Abutments angefertigt. Die eine Hälfte aller Abutments aus jeder Gruppe wurde mit Kronen aus Glaskeramik versorgt und die andere Hälfte erhielt keine Kronenversorgung. Anschließend wurden alle Prüfkörper auf ihrer Palatinalfläche so lange einer statischen Belastung in einem 30 Grad-Winkel ausgesetzt, bis sie frakturierten. Das jeweilige Biegemoment wurde berechnet und die Art der Fraktur wurde anhand von Querschnittschliffen optisch bestimmt. Die nicht versorgten Abutments wiesen im Vergleich zu den Abutments, die mit Kronen versorgt worden waren, in allen Gruppen ein höheres mittleres Biegemoment auf (158,2-678,2 Ncm gegenüber 117,9-419,4 Ncm). Das höchste mittlere Biegemoment wurde in der Kontrollgruppe (Titan-Abutments) sowohl bei den versorgten und unversorgten Abutments gleichermaßen ermittelt (419,4 Ncm und 678,2 Ncm). Sowohl unversorgte und versorgte Abutments der Gruppen T1 und T2 wiesen ein signifikant höheres Biegemoment auf, als unversorgte und versorgte Abutments aus Gruppe 3.

Schlussfolgerung: Sowohl das Abutment-Material als auch das Design der internen Verbindung beeinflussen das Biegemoment der Abutments. Es konnte festgestellt werden, dass das Biegemoment bei Implantat-Abutment-Verbindungen mit horizontalen Passungenauigkeiten gegenüber passgenauen Implantat-Abutment-Verbindungen signifikant erhöht war.

Çaglar A, Bal BT, Karakoca S, Aydın C, Yılmaz H, Sarısoy S. Three-dimensional finite element analysis of titanium and yttrium-stabilized zirconium dioxide abutments and implants. Int J Oral Maxillofac Implants. 2011 Sep-Oct;26(5):961-9.

(»Dreidimensionale Finite Elemente Analyse Titan- und Yttriumverstärkter Zirkondioxid-Abutments und Implantate.«)

Das Ziel der Studie war der Vergleich der von Mises (vM) Druckund Zugspannung auf Abutments und Implantaten sowie umgebenden Knochens mittels einer dreidimensionalen Finite Elemente Analyse anhand dreier Simulationen in der anterioren Maxilla.
Die Simulationen wurden mit Abutments aus Titan (ATt) und mit
Abutments aus Zirkondioxid (ATz), die auf Titan-Implantaten der
Marke Astra Osseospeed befestigt wurden, sowie mit einem einteiligen Zirkondioxid-Implantat (White Sky, WS) durchgeführt.
Die Implantate wurden auf dem Finite Elemente Modell im Bereich des linken mittleren Oberkiefer-Schneidezahns inseriert
und horizontal sowie schräg belastet. Die von Mises Spannungen
auf Implantat und Kortikalis waren im ATz-Modell niedriger als
im ATt-Modell. Die niedrigsten Spannungswerte wurden im WSImplantat gemessen. Dieses Implantat erzeugte auch die geringsten Spannungen in der Kortikalis.

Radetzki F, Wohlrab D, Zeh A, Delank KS, Mendel T, Berger G, Syrowatka F, Mayr O, Bernstein A. Cellular compatibility of highly degradable bioactive ceramics for coating of metal implants.
Biomed Mater Eng. 2011;21(5-6):307-21.

(»Bioverträglichkeit von resorbierbarer, bioaktiver Keramik als Beschichtung metallischer Implantate.«)

Resorbierbare Keramik kann die Integration von Implantaten im Knochen begünstigen. Dabei sollte die biologische Abbaurate idealerweise an die knöchernen Regenerationsvorgänge angepasst werden. Vorliegende Studie untersuchte den Einfluss schnell resorbierbarer Keramiken auf Kalziumphosphat-Basis (602020, GB14, 305020) auf die Anheftung, Proliferation und die Morphologie menschlicher Knochenmarksstammzellen (human bone-derived cells: HBDC) im Vergleich zu Keramik aus beta-Trikalziumphosphat (beta-TCP). Die In-vitro-Toxizität wurde mittels des Mikrokultur-Tetrazolium-Tests (MTT-Assay) bestimmt. Die HDBC wurden auf den unterschiedlichen Materialien angezüchtet und nach Ablauf von 3, 7, 11, 15 und 19 Tagen gezählt. Die Morphologie, die Anheftung, Ausbreitung und die Organisation des Grundgerüsts der Zellen wurden mittels Laser-Raster- sowie Rasterelektronenmikroskopie untersucht. In allen Proben konnte nach Ablauf eines Zeitraums von 19 Tagen ein ausreichendes Zellwachstum gemessen werden. Anzeichen einer Zytotoxizität waren nicht erkennbar. Auf jedem der getesteten Materialien konnte eine ähnlich hohe Anzahl Zellen ermittelt werden, die alle gut ausdifferenziert waren und auf der Materialoberfläche hafteten, was auf die Porosität des jeweiligen Materials zurückgeführt werden konnte.

Zhang S, Sun J, Xu Y, Qian S, Wang B, Liu F, Liu X. Biological Behavior of Osteoblast-like Cells on Titania and Zirconia Films Deposited by Cathodic Arc Deposition. Biointerphases. 2012 Dec;7(1-4):60.

(»Biologisches Verhalten osteoblastenähnlicher Zellen auf mittels kathodischer Lichtbogenabscheidung hergestellter Titan- und Zirkondioxid-Schichten.«)

Die kathodische Lichtbogenabscheidungstechnik wurde verwendet, um Schichten aus Zirkondioxid (ZrO2) und Titandioxid (TiO2) auf Titanscheiben herzustellen. Die Oberflächenstruktur wurde mittels Rasterelektronen- und Rasterkraftmikroskopie untersucht. Die Elementzusammensetzung der verschiedenen Schichten erfolgte mittels Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie. Die einzelnen Phasen der Schichten wurden mittels der Röntgenphasenanalyse bestimmt. Die rasterelektronische Untersuchung ergab, dass unter anderem die Zelladhäsion auf den

TiO2- und ZrO2-Schichten im Vergleich zur einfachen Titanschicht signifikant erhöht war. Die vorliegenden Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die kathodische Lichtbogenabscheidungstechnik sich gut zur Herstellung von Implantaten eignet.

Stimmelmayr M, Edelhoff D, Güth JF, Erdelt K, Happe A, Beuer F. Wear at the titanium-titanium and the titanium-zirconia implantabutment interface: A comparative in vitro study. Dent Mater. 2012 Dec;28(12):1215-20.

(»Verschleißerscheinungen im Abutment-Implantat-Interface von Abutments und Implantaten aus Titan sowie von Abutments aus Zirkondioxid und Titanimplantaten: Eine vergleichende in vitro-Studie.«)

Das Ziel der Studie waren die Bestimmung und die Messung der Abnutzung im Implantat-Abutment-Interface bei Abutments aus Titan oder Zirkondioxid und Titan-Implantaten, Sechs Implantate wurden zu diesem Zweck in Epoxidharz eingebettet und die Implantate mit jeweils drei Abutments aus Zirkondioxid und drei aus Titan versorgt. Bevor die Abutments mit den Implantaten verbunden wurden, wurden sie mittels Rasterelektronen-Mikroskopie (SEM) und der 3D-Mikro Computertomographie (CT) untersucht. Anschließend wurden die Abutments auf den Implantaten befestigt und in 1,2 Millionen Zyklen mit einer Zweiachs-Prüfmaschine mit 100 N belastet. Nach Abschluss der Belastungsphase wurden die Abutments von den Implantaten entfernt und es wurden erneut Messungen mittels einfachem Lichtmikroskop, SEM und CT durchgeführt. Die Aufnahmen mittels Mikroskop und SEM wurden miteinander verglichen, die CT-Aufnahmen darübergelegt und der Verschleiß mittels einer Kontroll-Software gemessen. Die statistische Analyse erfolgte mittels eines t-Tests für unabhängige Stichproben. Es wurden weder Frakturen der Abutments, noch Lockerungen der Verbindungsschrauben beobachtet. Statistisch signifikante Verschleißerscheinungen konnten an den Implantaten ermittelt werden, die mit Zirkondioxid-Abutments versorgt worden waren (p≤0,001).

Chang CL, Chen CS, Yeung TC, Hsu ML.
Biomechanical effect of a zirconia dental implant-crown system: a three-dimensional finite element analysis.
Int J Oral Maxillofac Implants. 2012 Jul;27(4):e49-57.

(»Biomechanische Effekte eines Implantat-Kronensystems aus Zirkondioxid: Eine Finite Elemente Analyse.«)

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung waren die Analyse und der Vergleich der Verhältnisse im Kontaktbereich zwischen Knochen und Implantatoberfläche bei reinen Titan-Implantaten oder partiell Yttrium-stabilisierten Zirkondioxid-Implantaten (Y-PSZ) in einem anisotropen, dreidimensionalen Finite Elemente Modell (FEM). Es wurden dreidimensionale FEM für den Oberkiefer hergestellt, die im Bereich der ersten Molaren mittels konventioneller Software mit Implantaten sowie Abutments und Kronen aus einer Goldlegierung oder Y-PSZ versorgt wurden. Die implantatgestützten Restaurationen wurden von okklusal in schräger Richtung mit 200 N im Bereich der zentralen und distalen Grube und horizontal mit 40 N belastet. Die von Mises- und die Druckbelastung waren bei der Zirkondioxid-Gruppe niedriger als in der Titan-Gruppe. Die Spannungsverteilung im Knochen war in beiden Gruppen ähnlich.

Schlussfolgerung: Aufgrund der ähnlichen biomechanischen Parameter von Implantaten aus Y-PSZ und Titan-Implantaten, stellt die Verwendung von Y-PSZ-Implantaten in ästhetischer Hinsicht eine durchaus tragfähige Alternative zu Implantaten aus Titan dar.

Att W, Yajima ND, Wolkewitz M, Witkowski S, Strub JR. Influence of preparation and wall thickness on the resistance to fracture of zirconia implant abutments.

Clin Implant Dent Relat Res. 2012 May;14 Suppl 1:e196-203.

(»Der Einfluss der Präparation und der Wandstärke auf den Frakturwiderstand von Implantatabutments aus Zirkondioxid.«)

Derzeit gibt es wenige Studien, die den Einfluss von Schleifvorgängen und der Materialstärke auf den Frakturwiderstand von Abutments aus Zirkondioxid zum Gegenstand haben. Um diese Zusammenhänge zu untersuchen, wurden 64 Implantate mit Abutments aus Titan (Ti) und Zirkondioxid (Zr-8, Zr-18 und Zr-1) versorgt. Die Abutments aus der Zr-8-Gruppe wiesen eine Wandstärke von 0,8 mm auf und die aus Gruppe Zr-1 hatten eine Wandstärke von 1 mm. Bei den Abutments der Gruppe Zr-18 wurde die Wandstärke von 1 mm auf 0,8 mm heruntergeschliffen. Auf alle Abutments wurden standardisierte Metallkronen (erster mittlerer Oberkiefer-Schneidezahn) zementiert. Die Bruchfestigkeit aller Prüfkörper wurde vor und nach artifizieller Kaubelastung in einer Prüfmaschine ermittelt. Die mittlere Frakturresistenz vor und nach Belastung und künstlicher Alterung betrug in Gruppe Ti 500-504 N, in Gruppe Zr-8 487-491 N, in Gruppe Zr-18 490-451 N und in Gruppe Zr-1 519-480 N. Signifikante Unterschiede konnten nicht ermittelt werden.

Schlussfolgerung: Alle Abutments sind in der Lage, physiologischen Belastungen in der Mundhöhle standzuhalten. Allerdings sollten die vorliegenden Ergebnisse mit anderen Implantatsystemen nochmals überprüft und verifiziert werden.

Al-Radha AS, Dymock D, Younes C, O'Sullivan D. Surface properties of titanium and zirconia dental implant materials and their effect on bacterial adhesion. J Dent. 2012 Feb;40(2):146-53.

(»Oberflächeneigenschaften von Titan- und Zirkondioxid-Implantaten und ihr Effekt auf die bakterielle Adhärenz.«)

In der vorliegenden Studie wurden die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Titan- und Zirkondioxid untersucht und ihre Affinität für verschiedene Bakterienarten verglichen. Dazu wurden scheibenförmige Prüfkörper mit unterschiedlichen Oberflächenzuständen hergestellt: Poliertes und partiell stabilisiertes Zirkondioxid (PZ), mit Zirkondioxid beschichtetes Titan (TBZ), Titan mit Zirkondioxid beschichtet und anschließend angeätzt (TBZA) wurden untersucht. Prüfkörper mit poliertem Titan (PT) dienten als Kontrollen. Die Oberflächenbeschaffenheit wurde mittels Rasterelektronenmikroskop und Profilometrie untersucht. Der Kontaktwinkel, die freie Enenergie und Mikrohärte der Oberfläche sowie ihre chemische Zusammensetzung wurden bestimmt. Die Prüfkörper wurden getrennt voneinander mit S. mitis und P. nigrescens inokuliert. Die Prüfkörper wurden dabei teilweise mit menschlichem Speichel bedeckt, bevor die Bakterien aufgebracht wurden. Nach sechs Stunden wurde anhand fluoreszenzmikroskopischer Bilder die bakterielle Bedeckungsrate der Prüfkörperoberfläche ermittelt. PZ und TBZ wiesen die geringste freie Oberflächenenergie und geringste Oberflächenbenetzbarkeit auf. Bei beiden war ein niedrigerer Prozentsatz an bakterieller Adhäsion als bei den Prüfkörpern aus der Kontrollgruppe festzustellen. **Schlussfolgerung:** Es ist anzunehmen, dass die Modifikation von Titanoberflächen mittels Zirkondioxid zu den gleichen guten Oberflächeneigenschaften führt, wie sie bei reinen Zirkondioxid-Materialien anzutreffen ist. Die freie Oberflächenenergie scheint der wichtigste determinierende Faktor für die initiale Bakterienanlagerung auf glatten Flächen zu sein.

Yamano S, Ma AK, Shanti RM, Kim SW, Wada K, Sukotjo C. The influence of different implant materials on human gingival fibroblast morphology, proliferation, and gene expression. Int J Oral Maxillofac Implants. 2011 Nov-Dec;26(6):1247-55.

(»Der Einfluss verschiedener Implantatmaterialien auf die Morphologie, Proliferation und Ausprägung des Genotyps bei menschlichen Gingiva-Fibroblasten.«)

Das Ziel der Studie war die Untersuchung der Reaktion menschlicher Gingivafibroblasten (human gingival fibroblasts: HGF) auf glatte oder raue Zirkondioxid- oder Titanoberflächen. Zu diesem Zweck wurden scheibenförmige Prüfkörper mit Oberflächen aus glattem Zirkondioxid (Zr-S), rauem Zirkondioxid (Zr-R), glattem Titan (Ti-S) sowie rauem Titan (Ti-R) hergestellt. Die Oberflächenrauigkeit wurde rasterkraftmikroskopisch untersucht, während die Zellproliferation mittels Mikrokultur-Tetrazolium-Tests (MTT-Assay) gemessen wurde. Die genotypischen Ausprägungen verschiedener Kollagene und Integrine (bestimmte Ankerproteine in der Zellmembran) wurden mittels Echtzeit-Polymerase Kettenreaktion ermittelt. Die Prüfkörper aus Ti-R wiesen die größten Oberflächenrauigkeiten auf, gefolgt von den Prüfkörpern aus Zr-R, Ti-S und Zr-S. Die Geschwindigkeit der Zellproliferation war auf den Zr-S-Prüfkörpern im Vergleich zu den übrigen

Prüfkörpern signifikant erhöht. Die genotypische Ausprägung war auf Zr-S Oberflächen bei Integrin alpha 2 nach drei Stunden und Integrin alpha 5 sowie Typ I-Kollagenfasern nach 48 Stunden im Vergleich zu den Prüfkörpern mit Titanoberfläche signifikant hochreguliert. Im Gegenzug waren die Integrine beta 1 und beta 3 sowie Kollagen Typ III auf Zr-S-Oberflächen im Vergleich zu den anderen Oberflächen signifikant reduziert.

Schlussfolgerung: Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass verschiedene Oberflächenmaterialien und Oberflächeneigenschaften die Morphologie, die Proliferation und die genotypische Ausprägung menschlicher Gingivafibroblasten beeinflussen können

Choi AH, Matinlinna JP, Ben-Nissan B. Finite element stress analysis of Ti-6Al-4V and partially stabilized zirconia dental implant during clenching. Acta Odontol Scand. 2012 Sep;70(5):353-61

(»Finite Elemente-Spannungsanalyse von Ti-6AI-4V und Implantaten aus partiell stabilisiertem Zirkondioxid während Kaubelastung.«)

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war, die Spannungsunterschiede zwischen Implantaten aus Ti-6AI-4V und partiell stabilisiertem Zirkondioxid (PS-ZrO2) bei Kaubelastung zu ermitteln. Dazu wurden anhand von Schliffpräparaten menschlicher Unterkiefer und Angaben aus der Literatur Unterkiefermodelle nach den dazu erforderlichen anatomischen, strukturellen und funktionellen Aspekten hergestellt. Zylinderförmige Implantate aus Ti-6AI-4V und PS-ZrO2 mit einem Durchmesser von 3,26 mm und einer Länge von 12 mm wurden im Bereich des ersten rechten Molaren eingesetzt. Die Analyse ergab im Mittel um 2-3% höhere Zug- und Druckspannungen sowie eine mittlere Zunahme der von Mises-Spannung um 8% im Knochen-Implantat-Interface bei den PS-ZrO2-Implantaten. Relativ geringe Spannungen wurden über die Implantate in die Spongiosa und die Kortikalis des umgebenden Knochens übertragen. Trotz der hohen gemessenen Zug-, Druck- und von Mises-Spannungen liegen die Spannungswerte in klinischer Hinsicht nicht im kritischen Bereich, da sie durch die mechanischen Eigenschaften des Implantatmaterials und des umgebenden Knochens aufgefangen werden können.

Kohal RJ, Wolkewitz M, Tsakona A. The effects of cyclic loading and preparation on the fracture strength of zirconium-dioxide implants: an in vitro investigation. Clin Oral Implants Res. 2011 Aug;22(8):808-14.

(»Die Effekte zyklischer Belastung und der Präparation auf den Frakturwiderstand von Implantaten aus Zirkondioxid: Eine in vitro-Untersuchung.«)

Das Ziel der Studie war die Untersuchung der Auswirkungen zyklischer Belastung und der Präparation von Zirkondioxid-Implantaten auf ihren Frakturwiderstand. Dazu wurden 48 einteilige Implantate zwei Gruppen zugeteilt. Implantate der Gruppe A wurden nicht präpariert, während die Implantate der Gruppe B eine Hohlkehlpräparation erhielten. Implantate beider Gruppen wurden in jeweils drei Untergruppen von je acht Implantaten unterteilt. Implantate der Gruppe 1 wurden nicht belastet, Implantate der Gruppe 2 wurden in 1,2 Millionen Belastungszyklen einer Kraft von 98 N ausgesetzt und Implantate der Gruppe 3 wurden mit der gleichen Kraft in 5 Millionen Zyklen belastet. Anschließend wurde in einer Prüfmaschine die Bruchfestigkeit der Implantate getestet. Die mittleren Bruchfestigkeitswerte betrugen für Implantate der Gruppe A1 1928,73 N, Gruppe A2 2044,84 N, Gruppe A3 1364,50 N, Gruppe B1 1221,66 N, Gruppe B2 967,11 und Gruppe B3 884,89 N. Signifikante Unterschiede in der Bruchfestigkeit der Implantate konnten zwischen den Gruppen A1 und A3 sowie B1 und B3 ermittelt werden. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen A1 und A2 sowie B1 und B2.

Schlussfolgerung: Sowohl die Präparation als auch die zyklische Belastung führen zu einer Abnahme der Bruchfestigkeit von Implantaten aus Zirkondioxid. Dennoch sind die Implantate mit den niedrigsten, in der Studie ermittelten Widerstandwerten dazu in der Lage, durchschnittlichen okklusalen Belastungen – auch nach verlängerten zyklischen Belastungsintervallen – zu widerstehen.

Kohal RJ, Wolkewitz M, Mueller C.

Alumina-reinforced zirconia implants: survival rate and fracture strength in a masticatory simulation trial.

Clin Oral Implants Res. 2010 Dec;21(12):1345-52.

(»Aluminiumverstärkte Zirkondioxid-Implantate: Eine Untersuchung zu Überlebensraten und Frakturwiderstand mittels Kausimulator.«)

Aluminiumverstärktes Zirkondioxid (ATZ) stellt eine mögliche Alternative zu Titanimplantaten dar. Das Ziel der vorliegenden Studie war daher die Untersuchung der Bruchfestigkeit einteiliger Implantate aus ATZ im Vergleich zu Implantaten aus tetragonalem, polykristallinem Zirkondioxid TZP-A. Es wurden von insgesamt 72 Implantaten 48 ATZ-Implantate (Gruppen A und B) und 24 TZP-A-Implantate (Gruppe C) untersucht. Bei allen Implantaten der Gruppen B und C wurde im Bereich des Implantatkopfes eine Hohlkehlpräparation durchgeführt. Je acht Implantate aus jeder der drei Gruppen wurden 1,2 oder 5 Millionen thermomechanischen Belastungszyklen mit 98 N im Kausimulator ausgesetzt. Acht Implantate aus jeder Gruppe wurden keiner Belastung ausgesetzt. Anschließend wurde die Bruchfestigkeit der Implantate in einer Prüfmaschine getestet. Keines der Implantate frakturierte während der Belastungen im Kausimulator. Die Bruchfestigkeitsmessungen ergaben für die Implantate aus den Gruppen ohne thermomechanische Belastung einen mittleren Bruchfestigkeitswert und eine Standardabweichung von 1734±165 N für nicht präparierte ATZ-Implantate, 1220±85 N für präparierte ATZ-Implantate und 578±49 N für präparierte TZP-A-Implantate. Nach 1,2 Millionen Belastungszyklen wurden mittlere Bruchfestigkeitswerte und Standardabweichungen von 1489±190 N für nicht präparierte ATZ-Implantate, 1064±121 N für präparierte ATZ-Implantate und 607±57 N für präparierte TZP-A-Implantate ermittelt. Nach 5 Millionen Belastungszyklen wurden mittlere Bruchfestigkeitswerte einschließlich Standardabweichungen von 1358±187 N bei nicht präparierten ATZ-Implantaten, 1098±97 bei präparierten TZP-A-Implantaten und 516±45 N bei präparierten TZP-A-Implantaten gemessen.

Schlussfolgerung: Die Präparation des Implantatkopfes und eine erhöhte Anzahl thermischer Belastungszyklen führten zu einer signifikanten Erhöhung der Bruchanfälligkeit. Im Vergleich zu den TZP-A-Implantaten konnte bei den ATZ-Implantaten eine höhere mechanische Stabilität ermittelt werden. Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass ATZ-Implantate in der Lage sind, funktionellen Belastungen über einen geschätzten Zeitraum von 20 Jahren standzuhalten.

Kohal RJ, Baechle M, Han JS, Hueren D, Huebner U, Butz F. In vitro reaction of human osteoblasts on alumina-toughened zirconia.

Clin Oral Implants Res. 2009 Nov;20(11):1265-71.

(»In vitro-Reaktion menschlicher Osteoblasten auf aluminiumverstärktes Zirkondioxid.«)

Mittels Aluminium werden die mechanischen Eigenschaften von Zirkondioxid-Keramik verbessert. Unklar ist, wie sich der Aluminium-Zusatz auf die Biokompatibilität des Materials auswirkt. Daher wurde in der vorliegenden Studie das Verhalten menschlicher Osteoblasten auf aluminiumverstärktes Zirkondioxid (ATZ) mit unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten untersucht. Menschliche Osteoblasten aus dem Oberkieferknochen von vier menschlichen Probanden wurden auf Prüfkörper mit folgenden Eigenschaften platziert: ATZ mit maschinierter Oberfläche, ATZ nach Luftpartikel-Abrasion und ATZ nach Luftpartikel-Abrasion und Säureätzung. Prüfkörper aus Titan nach Luftpartikel-Abrasion und Säureätzung (SLA) sowie Polystyrol dienten als Kontrollen. Die Oberflächenstruktur der Prüfkörper wurde mittels Profilometrie und Rasterelektronenmikroskopie erfasst und charakterisiert. Weiterhin wurden die Zellproliferation, der Anteil zellbedeckter Oberfläche, die alkalische Phosphatase- (ALP) und Osteokalzin-Produktion bestimmt. Die Oberflächenrauigkeit von ATZ war nach Luftpartikel-Abrasion erhöht, zeigte jedoch profilometrisch geringere Werte als SLA (p<0,05; Mann-Whitney U-Test). Der Zellproliferations-Assay ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen ATZ, SLA und Polystyrol. Die Oberfläche aller Prüfkörper war dicht mit Osteoblasten bedeckt und die ALP- und Osteokalzinproduktion war bei allen Prüfkörpern ähnlich hoch. Die Analyse der Zellmorphologie ergab flache Osteoblasten mit Zellfortsätzen auf allen Prüfkörpern.

Schlussfolgerung: Oberflächenveränderungen von ATZ mittels Luftpartikel-Abrasion oder/und Säureätzung scheinen das Wachstum und die Differenzierung von menschlichen Osteoblasten nicht zu beeinflussen. ATZ scheint ein gutes Substrat für das Wachstum und die Differenzierung von Osteoblasten darzustellen.

Setzer B, Bächle M, Metzger MC, Kohal RJ. The gene-expression and phenotypic response of hFOB 1.19 osteoblasts to surface-modified titanium and zirconia. Biomaterials. 2009 Feb;30(6):979-90.

(»Genotypische Ausprägung und phänotypische Reaktion von hFOB 1.19 Osteoblasten auf modifizierten Titan- und Zirkondioxid-Oberflächen.«)

Die Osteoblasten-Zelllinie hFOB 1.19 mit ihrem Proliferationsund Differenzierungspotential zeigte, dass die Zelldifferenzierung nicht durch Materialeigenschaften oder Rauigkeiten neuentwickelter Implantatmaterialien aus Zirkondioxid beeinflusst wird. In der vorliegenden Studie wurden Oberflächen aus maschiniertem Titan (Ti-m), mittels Zirkondioxid modifiziertem Titan (TiUnite, maschiniertes Zirkondioxid, TZP-A-m), modifiziertes Zirkondioxid (ZiUnite, maschiniertes, aluminiumverstärktes Zirkondioxid, ATZ-m) und modifiziertes, aluminiumverstärktes Zirkondioxid (ATZ-mod) bezüglich der Parameter Zellproliferation und Zelldifferenzierung nach Ablauf von 1, 3, 7, 14, 21 und 28 Tagen untersucht.

Schlussfolgerung: Die Zellproliferation war auf rauen Oberflächen sowohl bei Titan als auch Zirkondioxid reduziert. Die Zelldifferenzierung wurde weder durch das Material, noch seine Oberflächenrauigkeit beeinflusst.

Kohal RJ, Finke HC, Klaus G. Stability of prototype two-piece zirconia and titanium implants after artificial aging: an in vitro pilot study.

Clin Implant Dent Relat Res. 2009 Dec;11(4):323-9.

(»Stabilität zweiteiliger Implantat-Prototypen aus Zirkondioxid und Titan nach artifizieller Alterung: Eine in vitro-Pilotstudie.«)

Das Ziel der Studie war die Ermittlung der in vitro-Bruchfestigkeit von zweiteiligen, zylindrischen Zirkondioxid-Implantaten im Vergleich zu Titan-Implantaten gleichen Designs. Es wurden drei verschiedene Testgruppen mit je 16 Prüfkörpern gebildet. In Gruppe 1 wurden zweiteilige Zirkondioxid-Implantate mit keramikverblendeten Zirkondioxidkäppchen versorgt (Triceram, Esprident, Ispringen, Deutschland), während in Gruppe 2 Zirkondioxid-Implantate des gleichen Typs Vollkeramikkronen aus Empress 2 (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) erhielten. Gruppe 3 bestand aus baugleichen Titan-Implantaten, die mit konventionellen Verblendkronen aus Metallkeramik versorgt worden waren. Aus jeder Gruppe wurden je acht Prüfkörper einem künstlichen Alterungsprozess im Kausimulator mit 1,2 Millionen Belastungszyklen ausgesetzt, während die restlichen Prüfkörper keiner zyklischen Kaubelastung ausgesetzt wurden. Aus Gruppe 1 überstand ein Prüfkörper (Veneer-Fraktur) den künstlichen Alterungsprozess nicht. In Gruppe 2 überstanden alle Prüfkörper den Kausimulator, während aus Gruppe 3 sechs Prüfkörper aufgrund von Abutmentschraubenbrüchen ausfielen. Anschließend wurde bei allen Prüfkörpern, die den Belastungstest überstanden hatten und den Prüfkörpern ohne künstliche Alterung ein maschineller Bruchfestigkeitstest durchgeführt. Die mittleren Bruchfestigkeitswerte betrugen nach Kausimulation in Gruppe 1 275,7 N, in Gruppe 2 280,7 N und in Gruppe 3 165,7 N. Die mittleren Bruchfestigkeitswerte bei den Prüfkörpern ohne Kausimulation lagen für Gruppe 1 bei 325,1 N, für Gruppe 2 bei 281,8 N und für Gruppe 3 bei 595,2 N.

Schlussfolgerung: Die biomechanische Stabilität aller getesteten Implantat-Prototypen scheint in Anbetracht der potentiellen hohen okklusalen Belastungen eher grenzwertig zu sein. Daher ist die Möglichkeit eines klinischen Einsatzes der vorgestellten Prototypen als fraglich einzustufen.

Andreiotelli M, Kohal RJ.

Fracture strength of zirconia implants after artificial aging. Clin Implant Dent Relat Res. 2009 Jun;11(2):158-66.

(»Bruchfestigkeit von Implantaten aus Zirkondioxid nach künstlichen Alterungsprozessen.«)

Das Ziel der Studie war es, die Bruchfestigkeit von Implantaten aus Zirkondioxid (ZrO2) nach künstlichen Alterungsprozessen zu ermitteln. Untersucht wurden insgesamt 120 Implantate aus Ti (Gruppen A und B), Yttrium-verstärktem tetragonalem polykristallinem ZrO2 (Y-TZP) (Gruppe C), mit Aluminium bestreutem Y-TZP (Y-TZP-A) (Gruppe D) sowie Y-TZP-A mit einer modifizierten Oberfläche (Gruppen E und F und G). Implantate aus Gruppe F wurden im Bereich des Implantatkopfes präpariert. In Gruppe G wurden die Implantate ebenfalls präpariert und anschließend mit Vollkeramikkronen aus Zirkondioxid versorgt. Jeweils acht Implantate aus ieder Gruppe wurden thermomechanischen Belastungszyklen im Kausimulator ausgesetzt. Sieben der 120 Implantate gingen während des künstlichen Alterungsprozesses verloren. Die unpräparierten Implantate gingen beim Bruchfestigkeitstest bei Werten von 725 bis 850 N zu Bruch, während präparierte Implantate bereits bei Werten zwischen 539 bis 607 N frakturierten.

Schlussfolgerung: Die mittlere Bruchfestigkeit lag innerhalb klinisch akzeptabler Grenzen. Die Präparation der Implantate hatte einen statistisch signifikanten, negativen Einfluss auf die Bruchfestigkeit. Daher können einteilige Implantatsysteme aus ZrO2 noch nicht für den klinischen Einsatz empfohlen werden.

Kohal RJ, Klaus G, Strub JR. Zirconia-implant-supported all-ceramic crowns withstand longterm load: a pilot investigation.

Clin Oral Implants Res. 2006 Oct;17(5):565-71.

(»Bruchfestigkeit von Vollkeramikkronen auf Zirkondioxid-Implantaten: Eine Pilotstudie.«)

Das Ziel der vorliegenden Studie war, inwieweit mit Kronen aus Vollkeramik versorgte Zirkondioxid-Implantate die biomechanischen Voraussetzungen für einen klinischen Einsatz im Fronzahnbereich erfüllen. Zu diesem Zweck wurden 16 Titan-Implantate (ReImplant) mit Kronen aus konventioneller Metallkeramik (PFM) und 32 Zirkondioxid-Implantate (Celay) mit 16 Vollkeramikkronen aus Empress 1 sowie 16 Vollkeramikkronen aus Procera versorgt und jeweils acht dieser Prüfkörper aus jeder Gruppe Belastungstests im Kausimulator mit 1,2 Millionen Belastungszyklen ausgesetzt. In allen Fällen wurden Kronen für einen linken mittleren Oberkiefer-Schneidezahn hergestellt. Alle Prüfkörper überlebten die Belastungszyklen. Die mittleren Bruchfestigkeitswerte lagen für die nicht belasteten Implantate in der PFM-Gruppe bei 531,4 N, für die Empress 1-Gruppe bei 512,9 und für die Procera-Gruppe bei 575,7 N. Für die mittels Kausimulation belasteten Implantate lagen die mittleren Bruchfestigkeitswerte in der PFM-Gruppe bei 668,6 N, in der Empress-1-Gruppe bei 410,7 N und in der Procera-Gruppe bei 555,5 N. Bei den Implantaten aus der Gruppe ohne artifizielle Alterung waren keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Bruchfestigkeit erkennbar. Demgegenüber konnten nach Kausimulation statistisch signifikant höhere Bruchfestigkeitswerte bei den Procera-Kronen im Vergleich zu den Kronen aus Empress-1 ermittelt werden. Zwischen der PFM-Gruppe und der Procera-Gruppe waren keine signifikanten Unterschiede fest-

Schlussfolgerung: Es scheint, dass Zirkondioxid-Implantate, die mit Vollkeramikkronen aus Procera versorgt wurden, die biomechanischen Voraussetzungen für den klinischen Einsatz im Frontzahnbereich erfüllen können.

Kohal RJ, Papavasiliou G, Kamposiora P, Tripodakis A, Strub JR. Three-dimensional computerized stress analysis of commercially pure titanium and yttrium-partially stabilized zirconia implants. Int J Prosthodont. 2002 Mar-Apr;15(2):189-94.

(»Dreidimensionale, computergestützte Spannungsanalyse bei Titanimplantaten und bei partiell Yttrium-stabilisierten Zirkondioxid-Implantaten.«)

Das Ziel der Studie war die Untersuchung der Spannungsverteilungsmuster von Titan-Implantaten (ReImplant, Ti) und partiell Yttrium-stabilisiertem Zirkondioxid (Y-PSZ) mittels einer Finite

Elemente Analyse. Dazu wurden zwei dreidimensionale Finite Elemente Modelle hergestellt. Ein Modell erhielt das Ti-Implantat, das mit einer Metallkeramikkrone versorgt wurde. Das andere Modell wurde mit dem Y-PSZ-Implantat und einer Vollkeramikkrone versorgt. Anschließend wurden Spannungslevel nach den von Mises-Kriterien ermittelt. Die höchsten Spannungslevels wurden im Eintrittsbereich des Implantats in den Knochen beobachtet. Dabei waren höhere Spannungen in den fazialen und oralen Knochenbereichen zu messen, als in den proximalen. Höhere Spannungen konnten ebenfalls im apikalen Drittel im Implantat-Knochen-Interface gemessen werden.

Schlussfolgerung: Beide Implantate zeigten ähnliche Spannungswerte, die eine gute Verteilung im gesamten Interface zwischen Implantat und Knochen aufwiesen. Y-PSZ-Implantate könnten daher als eine ästhetische Alternative – insbesondere im Oberkiefer-Frontzahnbereich – betrachtet werden.

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. 2010 Feb;21(2):174-81.

(»Zelluläre Antwort osteoblastenähnlicher SAOS-2-Zellen auf Zirkondioxid-Keramik mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen.«)

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um Zirkondioxid mit Titan und Zirkondioxid mit zwei unterschiedlichen (gesandstrahlte/gesandstrahlte und angeätzte) Oberflächenstrukturen hinsichtlich ihrer Effekte auf das Adhäsions-, Proliferations-, und Differenzierungsverhalten von SAOS-2 Osteoblasten mittels Rasterelektronenmikroskopie und Fluoreszenzbildgebung zu vergleichen. Nach 24 Stunden Inkubationszeit konnte auf den Zirkondioxidflächen eine höhere Zellzahl und metabolische Aktivität sowie nach 48 Stunden eine höhere Proliferationsrate als auf den Titanoberflächen ermittelt werden. Auch die Differenzierungsrate war auf den Zirkondioxidflächen erhöht. Dabei konnten in den Zirkondioxid-Gruppen nur kleine Unterschiede in Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur ermittelt werden.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass Zirkondioxid einen größeren Effekt als Titan auf die Adhäsion, Proliferation und Differenzierung von Osteoblasten hat.

Caglar A, Bal BT, Aydin C, Yilmaz H, Ozkan S.
Evaluation of stresses occurring on three different zirconia dental implants: three-dimensional finite element analysis.
Int J Oral Maxillofac Implants. 2010 Jan-Feb;25(1):95-103.

(»Spannungsmessungen bei drei verschiedenen dentalen Zirkondioxid-Implantaten: Eine dreidimensionale Finite Elemente Analyse.«)

Das Ziel der Studie war die dreidimensionale Finite Elemente Analyse von Druck-, Zug- und von Mises-Spannungen, die von Implantaten dreier verschiedener Implantatsysteme (Z-Systems, Ziterion und White-Sky) aus Zirkondioxid auf den umgebenden Knochen abgegeben werden. Implantate von 10 mm Länge und 4 mm Durchmesser wurden im Bereich des linken mittleren Oberkiefer-Schneidezahnes in dreidimensionale Finite Elemente Modelle eingebracht und anschließend mit horizontal und schräg einwirkenden Kräften (Winkel zwischen 30 bis 90 Grad zur Implantat-Längsachse) in der Größenordnung von 178 N (schräg) und 25,5 N (horizontal) belastet. Grundsätzlich waren die von Mises-, Druck-und Zugspannungen in der Kortikalis größer als in der Spongiosa. Bei dem Implantat von Z-Systems konnten die höchsten Spannungswerte (aller drei Spannungsarten) gemessen werden.

Luthardt RG, Holzhüter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, Walter M.

Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. J Dent Res. 2002 Jul;81(7):487-91.

(»Die Zuverlässigkeit und die Eigenschaften geschliffener, Yttrium-stabilisierter Zirkondioxid-Keramik.«)

Yttrium-stabilisierte (Y-TZP) Zirkondioxid-Keramik ist ein Hochleistungswerkstoff mit exzellenter Biokompatibilität und mechanischen Eigenschaften, die sie für die Herstellung festsitzenden Zahnersatzes im Seitenzahnbereich geeignet erscheinen lassen. Es besteht Grund zur Annahme, dass die Festigkeit und Zuverlässigkeit von Kronen aus Y-TZP durch den Schleifprozess beeinflusst werden und je nach Schleifparameter unterschiedlich ausfallen. Biegefestigkeit, Oberflächenrauigkeit und Bruchfestigkeit wurden anhand von Prüfkörpern, die mit unterschiedlichen Schleifprozessen, Vorschubgeschwindigkeiten und Frästiefen bearbeitet wurden, bestimmt. Für die statistische Auswertung wurden Varianzanalysen und Weibull Parameter verwendet. Die Untersuchung ergab, dass der Schleifprozess an den Innenflächen der Prüfkörper im Vergleich zur Stichprobe, deren Außenflächen beschliffen wurden, zu einer signifikant reduzierten Festigkeit und Zuverlässigkeit der Y-TZP Zirkondioxid-Keramik führte. Analysen der Biegefestigkeit, der Weibull-Parameter und Bruchfestigkeit zeigten gegenläufige Effekte von Druckspannungen und durch den Schleifprozess induzierte Risse auf den Werkstückoberflächen. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Schleifprozesse optimiert werden müssen, um bei mittels CAD/CAM hergestellten Vollkeramik-Restaurationen zu besseren Festigkeitswerten und zu einer höheren Zuverlässigkeit zu führen.

Zinelis S, Thomas A, Syres K, Silikas N, Eliades G. Surface characterization of zirconia dental implants. Dent Mater. 2010 Apr;26(4):295-305.

(»Oberflächencharakteristika dentaler Zirkondioxid-Implantate.«)

Das Ziel der Studie war es, die chemische Zusammensetzung, Mikrostruktur und Rauigkeit zweier unterschiedlicher marktüblicher Implantate aus Zirkondioxid (White-Sky und Zit-Z) zu beschreiben. Im Halsbereich der Implantate konnten Kohlenstoff, Sauerstoff, Zirkon und Yttrium ermittelt werden. In apikalen Bereichen dagegen war Aluminium nachweisbar. Bei White-Sky-Implantaten wurden ein höherer Kohlenstoffanteil und ein niedrigeres Verhältnis von Aluminium zu Zirkon ermittelt. Natrium-, Kalium- und Chlor-Verunreinigungen waren ebenfalls bei beiden Implantatsystemen nachweisbar. Anhand von Querschnitten konnten neben monoklinen auch tetragonale und kubische Phasen nebeneinander gefunden werden. Monoklines Zirkondioxid war vor allem im apikalen Bereich der Implantate nachweisbar. Schlussfolgerung: Die Verunreinigungen der residuale Aluminiumgehalt, der Anteil an tetragonalen und monoklinen Phasen sowie Oberflächenrauigkeiten können zu einer erheblichen Differenzierung der Reaktion von Zellen und Gewebe führen.

Depprich R, Ommerborn M, Zipprich H, Naujoks C, Handschel J, Wiesmann HP, Kübler NR, Meyer U.

Behavior of osteoblastic cells cultured on titanium and structured zirconia surfaces.

Head Face Med. 2008 Dec 8:4:29.

(»Verhalten von Osteoblastenkulturen auf Titan- und Zikondioxid-Oberflächen.«)

Das Ziel der Studie war der Vergleich des Verhaltens von Osteoblasten bovinen Ursprungs auf Oberflächen aus Titan und aus Zirkondioxid unter standardisierten Verhältnissen.

Die Zellproliferationsrate war auf Zirkondioxid-Oberflächen signifikant höher als auf Titan-Oberflächen (p<0,05; t-Test). Im Gegensatz dazu war die Haftfestigkeit der Zellen auf Titanoberflächen signifikant erhöht (p<0,05; Mann Whitney U-Test). Hinsichtlich der Synthese von knochenspezifischen Proteinen konnten keine Unterschiede ermittelt werden.

Schlussfolgerung: Die Studie zeigt, dass auf Oberflächen aus Zirkondioxid die Zellproliferation von Osteoblastenkulturen in den ersten Tagen zwar signifikant erhöht ist, jedoch nicht zu einer erhöhten Haftfestigkeit der Zellen beitragen kann. Da sich beide Materialien bezüglich der Struktur der Osteoblasten und der Synthese knochenspezifischer Proteine nicht unterscheiden, kann Zirkondioxid als Material für Dentalimplantate in Betracht gezogen werden.

Klinische Studien am Tier

Hu H, Zhang W, Qiao Y, Jiang X, Liu X, Ding C. Antibacterial activity and increased bone marrow stem cell functions of Zn-incorporated TiO2 coatings on titanium. Acta Biomater. 2012 Feb;8(2):904-15.

(»Antibakterielle Aktivität und erhöhte Stammzellfunktionen des Knochenmarks bei zinkhaltigen Titandioxid-Beschichtungen auf Titan.«)

In der vorliegenden Arbeit wurde Zink (Zn) in Titandioxid (TiO2)-Beschichtungen mittels plasmaelektrophoretischer Oxidation eingebracht, um gute antibakterielle und knochenregenerative Eigenschaften zu erhalten. Die porösen und nanostrukturierten zinkhaltigen TiO2-Beschichtungen bestanden aus Poren <5 mikrom und Korngrößen zwischen 20-100 nm, in welchen Zn in gebundener Form als Zinkoxid (ZnO) enthalten war. Es besteht Grund zur Annahme, dass die TiO2-Beschichtungen mit Zn-Anteilen das Wachstum sowohl von S. aureus als auch E. coli erfolgreich verhindern können. Dabei steigt die Fähigkeit, das Bakterienwachstum zu verhindern, mit dem Anteil Zn in der Beschichtung. Gleichzeitig konnte die Adhäsions-, Proliferations- und Differenzierungsraten von Knochenmarksstammzellen (bMSC) im Rattenversuch durch Zn-TiO2-Beschichtungen im Vergleich zu Zn-freien Beschichtungen signifikant verbessert werden. Die positiven Eigenschaften der Zn-TiO2-Beschichtung auf die Stammzellen des Knochenmarks sind auf die stetige und langsame Freisetzung der Zn-Ionen zurückzuführen. Zusammenfassend lässt sich daher feststellen, dass Zn-TiO2-Beschichtungen sich zum Einsatz in der Orthopädie und der oralen Implantologie eignen.

Webster TJ, Patel AA, Rahaman MN, Sonny Bal B. Anti-infective and osteointegration properties of silicon nitride, poly(ether ether ketone), and titanium implants. Acta Biomater. 2012 Dec;8(12):4447-54.

(»Antibakterielle und osseointegrative Eigenschaften von Implantaten aus Siliziumnitrid, Polyetherketon und Titan.«)

Siliziumnitrid (Si3N4) ist eine industriell gefertigte Keramik, die bei Behandlungen im Bereich der Wirbelsäule und im Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereich verwendet wird. In der vorliegenden Studie werden die antibakteriellen und osseointegrativen Eigenschaften dieses Materials mit zwei anderen Implantatmaterialien, wie dem Polyetherketon (PEEK) und Titan (Ti) verglichen. Zu diesem Zweck wurden zum Verschluss künstlich induzierter Defekte in der Schädelkalotte von Ratten passende Implantate aus diesen drei Materialien angefertigt und eingesetzt. Anschließend wurde ein Teil der Tiere mit S. epidermidis mittels Injektion infiziert (Testgruppe), während ein anderer Teil der Ratten lediglich Kochsalzlösung erhielt und als Kontrollgruppe diente. Nach Ablauf von 3, 7 und 14 Tagen sowie drei Monaten nach dem Eingriff wurden jeweils vier Ratten je Implantatmaterial eingeschläfert und die Schädelkalotten-Implantate auf Knochenneubildung und bakterielle Besiedlung untersucht.

Bei den Ratten der Kontrollgruppe konnte nach drei Monaten bei Si3N4-Implantaten eine Knochenneubildungsrate von 69% gemessen werden, während sie bei PEEK 24% und Ti 36% betrug. In der Testgruppe wurden Knochenneubildungsraten bei Si3N4 von 41%, bei PEEK von 21% und bei Ti von 26% ermittelt. Bakterien waren im Umfeld von Si3N4-Implantaten nicht mehr nachweisbar, während bei 88% der PEEK- und bei 21% der Ti-Implantate Bakterien vorhanden waren. Die Osseointegration der Implantate wurde mittels des Ausdrückwiderstandes gemessen. Der Ausdrückwiderstand war bei Si3N4-Implantaten gegenüber Ti und PEEK signifikant erhöht, was neben der erhöhten Knochenneubildung und der antibakteriellen Wirksamkeit die guten Eigenschaften des Materials unterstreicht.

van Oirschot BA, Alghamdi HS, Närhi TO, Anil S, Al Farraj Aldosari A, van den Beucken JJ, Jansen JA.
In vivo evaluation of bioactive glass-based coatings on dental implants in a dog implantation model.
Clin Oral Implants Res. 2012 Oct 19. [Epub ahead of print]

(»In vivo-Evaluation von Implantat-Beschichtungen auf Glas-Basis im Hundemodell.«)

Auch wenn Implantate aus Titan sehr gebräuchlich sind und in der Implantologie bevorzugt eingesetzt werden, sind seine bioaktiven und osteokonduktiven Eigenschaften relativ gering. Beschichtungen aus Hydroxyl-Apatit (HA) werden daher häufig verwendet, um die bioaktiven Eigenschaften von Titan-Implantaten zu verbessern. Da bei bioaktiven Gläsern (BG) eine Förderung des Knochenwachstums angenommen wird, war das Ziel der vorliegenden Studie die Untersuchung der Effekte, die mittels einer HA-Beschichtung, bzw. der Einlagerung von BG in HA-Beschichtungen auf den Knochen erzielt werden können. Dazu wurden 48 schraubenförmige Titan-Implantate mittels eines Magnetron-Sputter-Beschichtungssystems mit HA sowie mit zwei unterschiedlich hohen Anteilen von BG in HA beschichtet (HABG-L: niedriger BG-Anteil; HABG-H: hoher BG-Anteil), in den Unterkiefer von 16 Beagle-Hunden implantiert und nach vier, bzw. 12 Wochen Tragezeit histologisch und histomorphometrisch untersucht. Nach Ablauf von vier Wochen war der Knochen-Implantat-Kontakt für die HA- und HABG-L-Proben signifikant höher als in der HABG-H-Gruppe (p<0,05). Signifikante Unterschiede in Bezug auf die mittlere Knochenneubildung im periimplantären Bereich waren zwischen der HABG-L- und der HABG-H-Gruppe mit 58,3%, bzw. 56,3% nicht feststellbar, während der Anteil der HA-Gruppe sich lediglich von der HABG-H-Gruppe signifikant unterschied. Nach 12 Wochen konnten keine Unterschiede mehr bezüglich des Knochen-Implantat-Kontakts und im mittleren Anteil periimplantären Knochens feststgestellt werden.

Schlussfolgerung: Die Einlagerung von BG in HA konnte nicht zu einer Verbesserung der bioaktiven Eigenschaften und der Osseointegration beitragen. In höheren Konzentrationen führte es sogar zu einer Verschlechterung bei der Knochenneubildung.

Hoffmann O, Angelov N, Zafiropoulos GG, Andreana S. Osseointegration of zirconia implants with different surface characteristics: an evaluation in rabbits.

Int J Oral Maxillofac Implants. 2012 Mar-Apr;27(2):352-8.

(»Osseointegration von Zirkondioxid-Implantaten mit unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften: Eine Evaluation im Kaninchenmodell.«)

Die glatte Oberfläche von Zirkondioxid führt im Vergleich zu rauen Titan-Oberflächen zu einer Verlängerung der Einheilzeiten von Implantaten. Oberflächenmodifikationen des Zirkondioxids können zu einer erhöhten Rauigkeit führen.

Das Ziel dieser Studie war, den Grad an Knochenapposition im Bereich von Zirkondioxid-Implantaten mit gesandstrahlter, gesinterter oder lasermodifizierter Oberfläche histologisch zu evaluieren und untereinander sowie mit Implantaten mit geätzter Titanoberfläche zu vergleichen. Das Ausdrehmoment, das für die Entfernung der Implantate aufgebracht werden musste, wurde ebenfalls bestimmt. 96 Implantate (24 für jede Gruppe) wurden in weibliche Neuseeländische Kaninchen in den distalen Femur eingebracht. Eine Hälfte der Implantate wurde nach sechs und 12 Wochen lichtmikroskopisch untersucht und der Implantat-Knochen-Kontakt histomorphometrisch bestimmt. Bei der anderen Hälfte wurde nach sechs, bzw. 12 Wochen das Ausdrehmoment bestimmt. Bezüglich der Knochenapposition konnten zwischen den einzelnen Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Zur Entfernung von Implantaten mit Oberflächen aus geätztem Titan war nach Ablauf von sechs Wochen ein signifikant höherer Torque als bei gesandstrahlten Zirkondioxid-Implantaten notwendig. Zur Entfernung gesinterter Zirkondioxid-Implantate war nach sechs Wochen im Vergleich zu Zirkondioxid-Implantaten mit gesandstrahlter Oberfläche ebenfalls ein signifikant größerer Torque notwendig. 12 Wochen nach Implantat-Insertion konnte nur noch bei geätztem Titan gegenüber Zirkondioxid-Implantaten mit gesandstrahlter Oberfläche ein signifikant größerer Torque gemessen werden.

Lozano D, Trejo CG, Gómez-Barrena E, Manzano M, Doadrio JC, Salinas AJ, Vallet-Regí M, García-Honduvilla N, Esbrit P, Buján J. Osteostatin-loaded onto mesoporous ceramics improves the early phase of bone regeneration in a rabbit osteopenia model. Acta Biomater. 2012 Jul;8(6):2317-23.

(»Mit Osteostatin beschichtete, mesoporöse Keramikoberflächen verbessern die frühe knöcherne Regeneration bei Kaninchen mit Osteopenie.«)

Die Knochenheilung ist bei Osteopenie/Osteoporose hochgradig beeinträchtigt. Das Parathormonähnliche Protein 107-111 (PTHrP, Osteostatin) ist ein wichtiger Regulator der Knochenneubildung. In der vorliegenden Untersuchung wurde SBA15-Keramik mit Osteostatin beschickt, um dessen Einfluss auf die Knochenheilung bei Kaninchen mit künstlich erzeugter Osteoporose zu ermitteln. Die Keramikprüfkörper wurden in artifiziell gesetzte Knochendefekte im Bereich des Femur sowohl bei Kaninchen mit künstlicher Osteoporose, als auch bei gesunden Kaninchen eingebracht. Zwei Wochen später wurden die Tiere eingeschläfert und die Proben histologisch und immunhistochemisch untersucht.

Sowohl bei gesunden Tieren, als auch bei Tieren mit artifizieller Osteoporose konnte die frühe Knochenneubildung mittels Osteostatin gefördert werden.

Azenha MR, Peitl O, Barros VM. Bone response to biosilicates with different crystal phases. Braz Dent J. 2010;21(5):383-9.

(»Knochenreaktion auf Biosilikate mit unterschiedlichen kristallinen Phasen.«)

Das Ziel der vorliegenden Studie war die histologische und histomorphometrische Untersuchung der Knochenreaktion auf Implantate aus drei verschiedenen Biosilikaten mit unterschiedlichen kristallinen Phasen. Als Kontrollgruppe dienten Bioglass 45S5-Implantate.

Die Implantate wurden beidseits in den Femur von Kaninchen eingebracht und nach 8 bzw. 12 Wochen wieder entfernt.

Schlussfolgerungen: Fremdkörperreaktionen oder Anzeichen von Entzündungen konnten bei keinem der Präparate festgestellt werden. Es bestanden keine signifikanten statistischen Unterschiede bezüglich der Gewebsreaktionen mit Ausnahme der Neubildung der periimplantären Kortikalis. Diese war bei den Implantaten aus Biosilikat 1F und Biosilikat 2F signifikant gegenüber den Implantaten aus Bioglass 45S5 und Biosilikat vitro erhöht (p=0,02).

Mai R, Kunert-Keil C, Grafe A, Gedrange T, Lauer G, Dominiak M, Grades T

Histological behaviour of zirconia implants: An experiment in rats.

Ann Anat. 2012 Oct 13. pii: S0940-9602(12)00143-4. [Epub ahead of print]

(»Histologische Reaktion auf Zirkondioxid-Implantate: Experimentelle Evaluation im Rattenmodell.«)

Ziel der Studie war die Untersuchung der Biokompatibilität und Osseointegration einer neuen Beschichtung für Zirkondioxid-Implantate, bezeichnet als "mds". Implantate mit dieser Oberflächenmodifikation wurden in künstlich geschaffene Defekte im Schädeldach erwachsener männlicher Ratten inseriert und nach Einheilzeiten von 28 bzw. 56 Tagen wieder entfernt. Anschließend erfolgte eine histologische Analyse der Proben. Es waren bei keiner der Proben entzündliche Gewebsveränderungen erkennbar. Die histomorphometrische Analyse ergab nach 28 Tagen eine mittlere Knochenneubildung von 36,3%. Nach 56 Tagen konnte eine Knochenneubildung von 58,2% ermittelt werden.

Schlussfolgerung: Es ist anzunehmen, dass die neue Oberfächenmodifikation für Zirkondioxid-Implantate eine gute Biokompatibilität und Osteokonduktivität aufweist.

Salem NA, Taleb AL, Aboushelib MN.

Biomechanical and Histomorphometric Evaluation of Osseointegration of Fusion-Sputtered Zirconia Implants.

J Prosthodont. 2012 Oct 25. [Epub ahead of print]

(»Biomechanische und histomorphometrische Untersuchung der Osseointegration von Zirkondioxid-Implantaten mit einer gesinterten Oberfläche.«)

Das Ziel der Studie war die biomechanische und histomorphometrische Untersuchung der Osseointegration von in einem speziellen Verfahren gesinterter Implantate aus Zirkondioxid im Vergleich zu Titan-Implantaten mit geätzter Oberfläche. 60 Zirkondioxid-Implantate wurden mittels CAD/CAM hergestellt,

von welchen die eine Hälfte mit einer Suspension aus Zirkondioxid besprüht und anschließend gesintert wurde. Die übrige Zirkondioxid-Implantate und Standard-Titan-Implantate gleicher Form und Größe dienten als Kontrollen. Bei 30 ausgewachsenen, männlichen neuseeländischen Kaninchen wurde in einem Femur je ein Titan-Implantat und ein oberflächenbehandeltes Implantat und im kontralateralen Femur ein unbehandeltes Zirkondioxid-Implantat inseriert. Nach Einheilzeiten von vier, acht und 12 Wochen wurden die Implantate wieder entfernt. Im Rahmen der Entnahme wurde das Drehmoment, was zur Entfernung der Implantate aus dem Knochen notwendig war gemessen und es erfolgten histologische und histomorphometrische Untersuchungen, um den Grad der Osseointegration zu ermitteln. Die oberflächenbehandelten Implantate wiesen einen signifikant erhöhten Ausdrehwiderstand auf als die Zirkondioxid-Implantate der Kontrollgruppe. Sie wiesen auch einen höheren Ausdrehwiderstand gegenüber den Titan-Implantaten auf, der jedoch statistisch nicht signifikant war. Die histomorphometrische Untersuchung ergab einen signifikant erhöhten Knochen-Implantat-Kontakt bei den oberflächenmodifizierten Zirkondioxid-Implantaten im Vergleich zu den Implantaten aus Titan. Dieser Unterschied war jedoch nur für die vier und acht Wochen alten Proben statistisch signifikant. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Knochendichte waren zwischen Zirkondioxid-Implantaten mit Oberflächenmodifikation und Titan-Implantaten nicht zu erkennen.

Schlussfolgerung: Zirkondioxid-Implantate mit einer speziell gesinterten Oberfläche sind bezüglich ihrer Osseointegration und ihrer biomechanischen Stabilität mit Titan-Implantaten vergleichbar.

Lee BC, Yeo IS, Kim DJ, Lee JB, Kim SH, Han JS. Bone formation around zirconia implants combined with rhBMP-2 gel in the canine mandible.

Clin Oral Implants Res. 2012 Aug 31. [Epub ahead of print]

(»Knochenbildung im Umfeld von Zirkondioxid-Implantaten in Kombination mit rhBMP-Gel im Hunde-Unterkiefer.«)

Das Ziel der Studie war die Untersuchung der Effekte der Kombination einer Versorgung mit Zirkondioxid-Implantaten und einem Gel aus rekombinantem humanem Knochenmorphogenetischem Protein-2 (rhBMP-2) auf die Beschleunigung des Knochenwachstums und der Osseointegration im Hundekiefer. Dazu wurden 48 identische Implantate mit unterschiedlichen Oberflächen in die Unterkiefer von Beagles implantiert. Die Implantate wurden in vier Gruppen unterteilt: Aluminiumgestrahlte Zirkondioxid-Implantate in Kombination mit rhBMP-2, aluminiumgestrahlte Zirkondioxid-Implantate in Kombination mit demineralisierter Knochenmatrix (DMB), aluminiumgestrahlte Zirkondioxid-Implantate ohne Zusatz und Titan-Implantate (Ti) mit RBM-Oberfläche (RBM: Resorbable Blast Media). Jeweils zwei, vier und fünf Wochen nach Implantation wurden den Versuchstieren fluoreszierende Knochenmarker zugeführt, um Knochenremodellierungsprozesse sichtbar zu machen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Knochen-Implantatkontakts zwischen den Gruppen ermittelt werden. Ebenso war kein signifikanter Unterschied beim Knochen-Implantat-Kontakt zwischen den Zirkondioxid-Implantaten mit rhBMP-2 und DBM erkennbar.

Park YS, Cung SH, Shon WJ.

Peri-implant bone formation and surface characteristics of rough surface zirconia implants manufactured by powder injection molding technique in rabbit tibiae.

Clin Oral Implants Res. 2012 Apr 4. [Epub ahead of print]

(»Periimplantäre Knochenbildung und Oberflächeneigenschaften von in Pulver-Spritzgießtechnik hergestellter Zirkondioxid-Implantaten mit rauer Oberfläche in der Kaninchen-Tibia.«)

In der Studie sollten die Osseointegration und die Oberflächeneigenschaften neuartiger, mittels Pulver-Spritzgießtechnik hergestellter Zirkondioxid-Implantate (PIM) unter Verwendung von Gussformen mit und ohne aufgerauten/angeätzten Innenoberflächen untersucht werden. Drei unterschiedliche Implantattypen mit Außensechskant-Verbindung und identischer Form wurden in die Tibia von 20 Kaninchen inseriert. Dabei handelte es sich um Titan-Implantate mit maschinierter Oberfläche, PIM Zirkon-

dioxid-Implantate mit Gussform ohne aufgeraute Innenflächen sowie PIM Zirkondioxid-Implantate mit Gussformen, deren Innenflächen aufgeraut waren. Zur Überprüfung der Osseointegration wurden histomorphometrische Analysen und Messungen des Ausdrehmoments der Implantate durchgeführt. Die PIM Zirkondioxid-Implantate zeigten einen signifikant größeren Knochen-Implantat-Kontakt als Titan-Implantate mit maschinierter Oberfläche und es war ein signifikant höheres Ausdrehmoment als bei den Titan-Implantaten notwendig. Zur Entfernung der Zirkondioxid-Implantate, die mittels Pulver-Spritzgießtechnik in Formen mit rauen Innenflächen hergestellt wurden, war ein signifikant höheres Ausdrehmoment notwendig, als bei den Zirkondioxid-Implantaten, die in Formen ohne raue Innenflächen hergestellt wurden.

Bormann KH, Gellrich NC, Kniha H, Dard M, Wieland M, Gahlert M. Biomechanical evaluation of a microstructured zirconia implant by a removal torque comparison with a standard Ti-SLA implant. Clin Oral Implants Res. 2012 Oct;23(10):1210-6.

(»Biomechanische Evaluation mikrostrukturierter Zirkondioxid-Implantate mittels Messung des Ausdrehmoments im Vergleich zu Ti-SLA Implantaten.«)

Das Ziel der Studie war, die biomechanische Gewebsantwort auf ein neuartiges, mikrostrukturiertes Zikondioxid-Implantat im Vergleich zu Titan-Implantaten mit gesandstrahlter und geätzter Oberfläche mittels Messung des Ausdrehmoments (Removal Torque, RTQ) zu untersuchen. 136 Implantate mit einem Durchmesser von 4,1 mm und einer Länge von 10 mm wurden in den Oberkiefer von 17 Minischweinen eingebracht. Von diesen Implantaten wurden 100 Implantate zur Messung des Ausdrehmoments herangezogen und die übrigen 34 Implantate sollten später histologisch untersucht werden. Zwei Implantate wurden von der Untersuchung ausgeschlossen. Die adjustierten mittleren RTQ-Werte betrugen für die Ti-SLA Implantate nach vier Wochen 131 Ncm, nach acht Wochen 128 Ncm und nach 12 Wochen 180 Ncm. Bei den Zirkondioxid-Implantaten betrugen die mittleren RTQ-Werte 110 Ncm nach vier, 97 Ncm nach acht und 147 Ncm nach 12 Wochen. Signifikante Unterschiede im RTQ waren nur im zweiten Messintervall nach Ablauf von acht Wochen messbar. Die biomechanische Gewebsantwort der untersuchten Zirkondioxid-Implantate scheint gegenüber der von Titan-Implantaten gleichwertig zu sein.

Gahlert M, Roehling S, Sprecher CM, Kniha H, Milz S, Bormann K. In vivo performance of zirconia and titanium implants: a histomorphometric study in mini pig maxillae. Clin Oral Implants Res. 2012 Mar;23(3):281-6.

(»In vivo-Verhalten von Zirkondioxid- und Titanimplantaten: Eine histomorphometrische Studie am Oberkiefer von Minischweinen.«)

Es wurden zylindrische Zirkondioxid-Implantate mit einer angeätzten Oberfläche in einem Niedrigdruckspritzgießverfahren hergestellt. Gleich dimensionierte Titan-Implantate mit gesandstrahlten und geätzten Oberflächen dienten als Kontrollen. Bei 18 erwachsenen Minischweinen wurden sechs Monate nach Extraktion der Oberkiefer Eck- und Frontzähne beide Implantattypen inseriert. Nach jeweils vier, acht und 12 Wochen wurden die Tiere eingeschläfert. Es standen für die histomorphometrische Untersuchung der periimplantären Knochendichte und des Knochen-Implantat-Kontakts insgesamt 16 Zirkondioxid- und 18 Titan-Implantate zur Verfügung. Die mittleren Knochendichte-Werte betrugen für die Zirkondioxid-Implantate nach vier Wochen 60,4%, nach acht Wochen 65,4% und nach 12 Wochen 63,3%. Die Titan-Implantate wiesen mittlere Knochendichtewerte von 61,1% nach vier, 63,6% nach acht und 68,2% nach 12 Wochen auf. Bezüglich des Implantat-Knochen-Kontakts lagen die mittleren Werte für die Zirkondioxid-Implantate zwischen 67,1% bis 70,0% und für die Titan-Implantate zwischen 64,7% und 83,7%. Es konnten zu keinem Messzeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen beiden Implantattypen bezüglich der untersuchten Parameter ermittelt werden.

Gahlert M, Röhling S, Wieland M, Eichhorn S, Küchenhoff H, Kniha H

A comparison study of the osseointegration of zirconia and titanium dental implants. A biomechanical evaluation in the maxilla of pigs.

Clin Implant Dent Relat Res. 2010 Dec;12(4):297-305.

(»Eine Vergleichsstudie zur Osseointegration von Zirkondioxidund Titan-Implantaten: Eine biomechanische Untersuchung im Schweine-Oberkiefer.«)

Zirkondioxid-Implantate wurden mit einem Durchmesser von 4,1 mm und einer Länge von 10 mm mittels eines neuartigen Niedrigdruckspritzgießverfahrens hergestellt und ihre Oberfläche anschließend mit Flusssäure angeätzt. Titan-Implantate gleicher Maße und mit gesandstrahlter und angeätzter Oberfläche (Ti-SLA) dienten als Kontrollen. Sechs Monate nach Extraktion der seitlichen Oberkiefer-Schneide- und Eckzähne wurden 16 erwachsene Schweine mit insgesamt 64 Implantaten versorgt. Nach einem Ablauf von vier, acht und 12 Wochen wurde bei insgesamt 59 Implantaten das Ausdrehmoment (Removal Torque, RTQ) ermittelt. Der mittlere RTQ betrug für die Zirkondioxid-Implantate nach vier Wochen 42,4 Ncm, nach acht Wochen 69,6 Ncm und nach 12 Wochen 69,3 Ncm. Bei den Ti-SLA-Implantaten wurden mittlere Werte von 42,1 nach vier, 75,0 nach acht und 73,1 nach 12 Wochen ermittelt. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass das Anätzen der Oberfläche von Zirkondioxid-Implantaten zu ähnlich hohen Ausdrehmomenten führt, wie sie bei Ti-SLA-Implantaten zu finden sind.

Gahlert M, Gudehus T, Eichhorn S, Steinhauser E, Kniha H, Erhardt W.

Biomechanical and histomorphometric comparison between zirconia implants with varying surface textures and a titanium implant in the maxilla of miniature pigs.

Clin Oral Implants Res. 2007 Oct;18(5):662-8.

(»Biomechanische und histomorphometrische Vergleichsstudie zwischen Zikondioxid-Implantaten mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit und Titan-Implantaten im Oberkiefer von Minischweinen.«)

Das Ziel der Studie war der biomechanische und histologische Vergleich von Zirkondioxid-Implantaten mit maschinierter (ZrO2m) oder gesandstrahlter Oberfläche (ZrO2r) und Titan-Implantaten gleicher Abmessungen mit gesandstrahlter und angeätzter Oberfläche (Ti-SLA). Sechs Monate nach Extraktion der seitlichen Oberkiefer-Schneide- und Eckzähne bei 13 Minischweinen, wurden 78 Implantate nach dem Zufallsprinzip eingebracht. Nach vier, acht und 12 Wochen Einheilzeit standen insgesamt 69 Implantate zur Messung des Ausdrehmoments zur Verfügung. Eine kleine Anzahl Implantate wurde histologisch untersucht. Die höchste Oberflächenrauigkeit wies das Ti-SLA-Implantat auf, gefolgt vom ZrO2r und dem Zro2m-Implantat. Die ZrO2m-Implantate wiesen nach Ablauf von acht und 12 Wochen statistisch signifikant geringere RTQ-Werte als die Implantate der beiden anderen Gruppen auf. Bei den Ti-SLA-Implantaten wurden signifikant höhere RTQ-Werte gemessen als bei den ZrO2r-Implantaten. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass mittels Oberflächenätzung die Knochenstabilität und die Knochenapposition bei Zirkondioxid-Implantaten erhöht werden können.

Kohal RJ, Wolkewitz M, Hinze M, Han JS, Bächle M, Butz F. Biomechanical and histological behavior of zirconia implants: an experiment in the rat.

Clin Oral Implants Res. 2009 Apr;20(4):333-9.

(»Biomechanisches und histologisches Verhalten von Zirkondioxid-Implantaten: Eine experimentelle Untersuchung im Rattenmodell.«)

Zirkondioxid-Implantate mit maschinierter und rauer Oberfläche sowie Titan-Implantate mit maschinierter und auf elektrochemischem Weg aufgerauter Oberfläche wurden in den Femur von 42 männlichen Sprague-Dawley-Ratten eingebracht. Nach einer Einheilphase von 28 Tagen wurde die Belastbarkeit der Implantate mittels Push-In-Tests ermittelt. Zusätzlich wurden nach 14 und 28 Tagen histologische Untersuchungen durchgeführt. Der histologisch ermittelte mittlere Knochen-Implantat-Kontakt war zu beiden Messzeitpunkten bei den Zirkondioxid- und Titan-

die.«)

Implantaten mit den rauen Oberflächen am höchsten. Auch der Push-In-Test ergab eine höhere Belastbarkeit bei den Implantaten mit rauen Oberflächen. Zwischen Zirkondioxid- und Titan-Implantaten mit rauen Oberflächen konnten dabei keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Kohal RJ, Weng D, Bächle M, Strub JR.

Loaded custom-made zirconia and titanium implants show similar osseointegration: an animal experiment.

J Periodontol. 2004 Sep;75(9):1262-8.

(»Belastete Implantat-Sonderanfertigungen aus Zirkondioxid und Titan zeigen eine ähnliche Osseointegration: Eine Tierstu-

12 Titan-Implantate mit Aluminiumtrioxid-gesandstrahlten und angeätzten Oberflächen (Kontrollgruppe) sowie 12 Zirkondioxid-Implantate mit angeätzter Oberfläche (Testgruppe) wurden in die Extraktionsalveolen von Oberkiefer-Frontzähnen bei sechs Affen inseriert. Nach einer sechsmonatigen Einheilphase erfolgten Abformungen zur Herstellung von Frontzahnkronen aus Nichtedelmetall, die drei Monate später eingesetzt wurden. Nach einer fünfmonatigen Tragedauer wurden die Implantate einschließlich des periimplantären Gewebes entfernt und histologisch untersucht. Kein Implantat ging während der Beobachtungszeit verloren. Mit einer mittleren Höhe der periimplantären Weichgewebsmanschette von 5,0 mm bei den Titan-Implantaten und 4,5 mm bei den Zirkondioxid-Implantaten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden. Der mittlere Knochen-Implantat-Kontakt betrug nach neunmonatiger Einheilzeit und fünfmonatiger Belastung bei den Titan-Implantaten 72,9% und 67,4% bei den Zirkondioxid-Implantaten. Auch hier war kein sig-

Sennerby L, Dasmah A, Larsson B, Iverhed M. Bone tissue responses to surface-modified zirconia implants: A histomorphometric and removal torque study in the rabbit. Clin Implant Dent Relat Res. 2005;7 Suppl 1:S13-20.

nifikanter Unterschied messbar.

(»Knochengewebsreaktion auf oberflächenmodifizierte Zirkondioxid-Implantate: Eine Studie zur Histomorphometrie und zum Ausdrehmoment im Kaninchenmodell.«)

Von insgesamt 96 Schraubenimplantaten aus Zirkondioxid mit einem Durchmesser von 3,75 mm mit maschinierter Oberfläche, bzw. zwei weiteren Oberflächenmodifikationen (Zr-A und Zr-B) sowie Titan-Implantaten gleichen Durchmessers mit oxidierter Oberfläche (Ti-Ox) wurden je zwei in die Tibia und je zwei in den Femur von 12 Kaninchen eingebracht. Bei sechs Kaninchen wurde nach einer Einheilphase von sechs Wochen das Ausdrehmoment (RTQ) bestimmt. Die Implantate der anderen sechs Tiere wurden en bloc mit dem umliegenden Gewebe entnommen und histologisch untersucht. Das Knochen-Implantat-Interface wurde bei den Zr-A und Zr-B-Implantaten nach Messung des Ausdrehmoments elektronenmikroskopisch bestimmt.

Die höchsten Oberflächenrauigkeiten wurden bei den Ti-Oxund Zr-A-Implantaten gemessen, gefolgt von den Zr-B-Implantaten und den maschinierten Implantaten. Bei den letztgenannten Implantaten wurde das niedrigste RTQ gemessen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Knochen-Implantat-Interface zwischen den einzelnen Gruppen ermittelt werden. Der RTQ der Zr-A- und Zr-B-Implantate glich dem der Ti-Ox-Implantate.

Schliephake H, Hefti T, Schlottig F, Gédet P, Staedt H. Mechanical anchorage and peri-implant bone formation of surface-modified zirconia in minipigs.

J Clin Periodontol. 2010 Sep;37(9):818-28.

(»Mechanische Verankerung und periimplantäre Knochenbildung bei oberflächenmodifizierten Zirkondioxid-Implantaten beim Minischwein.«)

Zwölf Minischweine erhielten acht Wochen nach Entfernung aller Unterkiefer-Prämolaren Zirkondioxid-Implantate mit gesandstrahlter und gesandstrahlter/angeätzter Oberfläche sowie ein Titan-Implantat mit gesandstrahlter/geätzter Oberfläche, das als Kontrolle diente. Nach vier bzw. 13 Wochen wurden bei sechs der Tiere das Ausdrehmoment (RTQ) und die periimplantäre Knochenregeneration gemessen. Die Titanoberfläche wies im Vergleich

zu beiden getesteten Zirkondioxid-Oberflächen eine signifikant höhere Rauigkeit auf. Bezüglich des mittleren Knochen-Implantat-Kontakts waren nach vier Wochen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Implantattypen feststellbar. Nach 13 Wochen war jedoch bei den Titan-Implantaten signifikant größerer Knochen-Implantat-Kontakt als bei den Zirkondioxid-Implantaten festzustellen. Unterschiede in der Knochendichte konnten nicht gemessen werden. Bei den Titan-Implantaten wurde nach vier und 13 Wochen ein signifikant höheres Ausdrehmoment als bei den Zirkondioxid-Implantaten ermittelt, was höchstwahrscheinlich auf die raue Oberfläche zurückgeführt werden kann.

Schultze-Mosgau S, Schliephake H, Radespiel-Tröger M, Neukam FW.

Osseointegration of endodontic endosseous cones: zirconium oxide vs titanium.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2000 Jan;89(1):91-8.

(»Osseointegration von enossalen endodontischen Stiften: Eine vergleichende Untersuchung von Stiften aus Zirkondioxid gegenüber Titan-Stiften.«)

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung der Osseointegration von Zirkondioxid (ZrO2)- und Titanstiften (Ti), die bei Wurzelspitzenresektionen zum Kanalverschluss im Bereich der Resektionsstelle verwendet werden. Zu diesem Zweck wurden 20 Stifte aus ZrO2 und 20 Stifte aus Ti in den Unterkieferknochen von vier Göttinger Minischweinen eingebracht. Während der sechsmonatigen Einheilphase erfolgte eine intravitale polychrome Sequenzmarkierung. Anschließend wurden die Proben entfernt und lichtmikroskopisch, fluoreszenzmikroskopisch und histomorphometrisch untersucht. Unter dem Lichtmikroskop konnten Areale mit direktem Knochenkontakt bei den Stiften aus ZrO2 ermittelt werden. Fluoreszenzmikroskopie ergab Remodellierungsprozesse im direkten Kontakt mit beiden Materialien. Die Ergebnisse zeigen, dass die biokompatiblen Eigenschaften von ZrO2 denen von Ti gleichen. Die Verwendung von ZrO2-Stiften bei Wurzelspitzenresektionen scheint daher eine akzeptable Behandlungsmaßnahme darzustellen.

Koch FP, Weng D, Krämer S, Biesterfeld S, Jahn-Eimermacher A, Wagner W.

Osseointegration of one-piece zirconia implants compared with a titanium implant of identical design: a histomorphometric study in the dog.

Clin Oral Implants Res. 2010 Mar;21(3):350-6.

(»Osseointegration einteiliger Zirkondioxid-Implantate im Vergleich zu Titan-Implantaten gleichen Typs: Eine histomorphometrische Untersuchung bei Hunden.«)

Im Unterkiefer von sechs Mischlingshunden wurden zehn Wochen, nachdem alle Prämolaren entfernt worden waren, beidseits je vier einteilige Implantate aus (1) unbeschichtetem Zirkondioxid, (2) einem Zirkondioxid-Implantat mit einer Kalzium freisetzenden Titanbeschichtung, (3) einem Titan-Implantat und (4) einem experimentellen Implantat aus Polyetherketon eingesetzt. Die Implantate heilten in einem Split-Mouth-Design auf der einen Seite offen und kontralateral geschlossen ein. Nach Ablauf von vier Monaten wurden die Implantate mit dem periimplantären Gewebe en bloc entfernt und mit Toluidin Blau angefärbt, um den Knochen-Implantat-Kontakt und das Knochenniveau zu beurteilen. Alle 48 Implantate zeigten klinisch und histologisch eine gute Osseointegration. Histomorphometrisch konnten keine Unterschiede des Knochenniveaus in Abhängigkeit vom jeweiligen Material ermittelt werden. Dabei schienen jedoch die geschlossen eingeheilten Implantate ein stabileres krestales Knochenniveau aufzuweisen. Der Knochen-Implantat-Kontakt betrug im Mittel 59,2% bei unbeschichtetem Zirkondioxid, 58,3% bei beschichtetem Zirkondioxid, 26,8% beim Polyetherketon und 41,2% bei Titan-Implantaten.

Schlussfolgerung: Zirkondioxid-Implantate mit rauer Oberfläche scheinen ein ähnliches Osseointegrationsverhalten zu besitzen wie Titan-Implantate mit der gleichen Oberflächenmodifikation.

Ferguson SJ, Langhoff JD, Voelter K, von Rechenberg B, Scharnweber D, Bierbaum S, Schnabelrauch M, Kautz AR, Frauchiger VM, Mueller TL, van Lenthe GH, Schlottig F.

Biomechanical comparison of different surface modifications for dental implants.

Int J Oral Maxillofac Implants. 2008 Nov-Dec;23(6):1037-46.

(»Vergleichende Untersuchung des biomechanischen Verhaltens unterschiedlicher Implantat-Oberflächenmodifikationen.«)

Formgleiche Implantate aus gesandstrahltem und geätztem Titan (Ti), gesandstrahltem und geätztem Zirkondioxid (Zr), mit Kalziumphosphat beschichtetem Titan (Ti-CaP), Titan mit anodischer plasmachemischer Oberflächenbehandlung (Ti-APC), bisphosphonatbeschichtetem Titan (Ti-B) und Titan mit Kollagenbeschichtung und Chondroitinsulfatzusatz (Ti-CS) wurden in das knöcherne Becken von Schafen eingebracht. Die periimplantäre Knochendichte und das Ausdrehmoment wurden nach zwei, vier und acht Wochen nach Implantation gemesssen. Signifikante Unterschiede bezüglich der periimplantären Knochendichte waren nicht vorhanden. Acht Wochen nach Einheilung konnten für Ti, Ti-CAP, Ti-B und Ti-CS ein signifikant höheres Ausdrehmoment als bei Zr und Ti-APC gemessen werden.

Depprich R, Zipprich H, Ommerborn M, Naujoks C, Wiesmann HP, Kiattavorncharoen S, Lauer HC, Meyer U, Kübler NR, Handschel J. Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study.

Head Face Med. 2008 Dec 11;4:30.

(»Osseointegration von Zirkondioxid-Implantaten im Vergleich zu Implantaten aus Titan: Eine in vivo-Untersuchung.«)

24 Zirkondioxid- und 24 Titan-Implantate wurden in die Tibia von 12 Minischweinen eingebracht, um die knöchernen Einheilungsprozesse der beiden Implantatmaterialien nach einer, vier oder 12 Wochen mittels histologischer und ultrastruktureller Analysen zu untersuchen. Die histologische Untersuchung ergab direkten Knochenkontakt sowohl bei Zirkondioxid- als auch Titan-Implantaten. Die histomorphometrische Untersuchung zeigte einen leicht besseren Knochenkontakt bei Titan-Implantaten, der jedoch statistisch nicht signifikant war.

Depprich R, Zipprich H, Ommerborn M, Mahn E, Lammers L, Handschel J, Naujoks C, Wiesmann HP, Kübler NR, Meyer U. Osseointegration of zirconia implants: an SEM observation of the bone-implant interface.

Head Face Med. 2008 Nov 6;4:25.

(»Osseointegration von Zirkondioxid-Implantaten: Eine rasterlektronenmikroskopische Untersuchung des Knochen-Implantat-Interface.«)

24 Zirkondioxid- und 24 Titan-Implantate mit ähnlicher Form und Oberflächentopographie wurden in die Tibia von 12 Göttinger Minischweinen eingebracht, um die Struktur des Knochen-Implantat-Interface beider Implantatmaterialien nach einer, vier oder 12 Wochen mittels Rasterelelektronenmikroskop zu untersuchen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Grad der Osseointegration in Abhängigkeit von Implantatatmateriel ermittelt werden.

Möller B, Terheyden H, Açil Y, Purcz NM, Hertrampf K, Tabakov A, Behrens E, Wiltfang J.

A comparison of biocompatibility and osseointegration of ceramic and titanium implants: an in vivo and in vitro study. Int J Oral Maxillofac Surg. 2012 May;41(5):638-45.

(»Eine vergleichende Untersuchung zur Biokompatibilität und Osseointegration von Keramik- und Titan-Implantaten: Eine in vitro- und in vivo-Studie.«)

Bevor die Osseointegration von Zirkondioxid- und Titan-Implantaten (WhiteSky, BlueSky, Bredent, Deutschland) im Tiermodell untersucht wurde, erfolgte eine Untersuchung der Biokompatibilität der unterschiedlichen Materialien mittels in vitro-Tests, die eine gute Biokompatibilität ergaben. Bei der anschließenden in vivo-Untersuchung wurden je vier der untersuchten Implantate in das Stirnbein von Hausschweinen eingebracht, nach vier bzw. 12 Wochen entfernt und histomorphometrisch untersucht. Bei allen Implantaten konnte ein direkter Knochen-Implantat-Kontakt

nachgewiesen werden. Obwohl bei den Zirkondioxid-Implantaten gegenüber den Titan-Implantaten eine leichte Verzögerung der Osseointegration erkennbar war (mittlerer Knochen-Implantat-Kontakt bei Zirkondioxid nach vier Wochen 59,3% gegenüber 64,1% bei Titan-Implantaten und nach 12 Wochen 67,1% gegenüber 73,6%), waren die Unterschiede statistisch nicht signifikant.

Bacchelli B, Giavaresi G, Franchi M, Martini D, De Pasquale V, Trirè A, Fini M, Giardino R, Ruggeri A.
Influence of a zirconia sandblasting treated surface on perimplant bone healing: An experimental study in sheep.
Acta Biomater. 2009 Jul;5(6):2246-57.

(»Der Einfluss gesandstrahlter Zirkondioxid-Oberflächen auf die periimplantäre Knochenheilung: Eine experimentelle Studie im Schafmodell.«)

Zirkondioxid-Implantate mit gesandstrahlter Oberfläche (ZrO2) wurden mit Titan-Implantaten mit maschinierter Oberfläche, mit Plasmabeschichtungen aus Titanoxid (TPS) und mit aluminiumgestrahlter Oberfläche (Al-SL) hinsichtlich ihrer Osseointegration verglichen. Die Implantate wurden in die Tibia von 12 Schafen eingebracht und nach zwei, vier und 12 Wochen histologisch, rasterelektronenmikroskopisch und mittels Mikrohärtetests untersucht. Im Vergleich zu den Titan-Implantaten konnten nach zwei Wochen bei den Zirkondioxid-Implantaten eine signifikant erhöhte Osseointegration und Mikrohärte des neu gebildeten Knochens beobachtet werden.

Gomez Sanchez A, Ballarre J, Orellano JC, Duffó G, Ceré S. Surface modification of zirconium by anodisation as material for permanent implants: in vitro and in vivo study. J Mater Sci Mater Med. 2012 Sep 29. [Epub ahead of print]

(»Oberflächenmodifikationen von Zirkondioxid mittels Eloxierung als Material für definitive Implantatversorgngen: Eine in vivo- und in vitro-Studie.«)

Die Oberfläche von Zirkondioxid wurde bei einer konstanten Spannung zwischen 3-30 V mit Phosphorsäure eloxiert. Die Proben wurden 30 Tage in künstlicher Körperflüssigkeit gelagert und anschließend elektrochemische Assays in vitro durchgeführt, um den Einfluss des Oxids auf den Korrosionswiderstand der Oberfläche der Prüfkörperzu messen. Mittels Phosphorsäure konnte die Fähigkeit des Zirkondioxids zur Ausbildung von Hydroxyl-Apatit in einem einzigen Schritt erhöhen. Die hohe antikorrosive Eigenschaft des modifizierten Zirkondioxids im Vergleich zum unbehandelten Zirkondioxid konnte in vivo bei Wistar Ratten ermittelt werden. In beiden Gruppen war unabhängig von der Oberflächenbehandlung eine Knochenneubildung im Kontakt mit der Oberfläche der Zirkondioxid-Implantate festzustellen.

Langhoff JD, Voelter K, Scharnweber D, Schnabelrauch M, Schlottig F, Hefti T, Kalchofner K, Nuss K, von Rechenberg B. Comparison of chemically and pharmaceutically modified titanium and zirconia implant surfaces in dentistry: a study in sheep. Int J Oral Maxillofac Surg. 2008 Dec;37(12):1125-32.

(»Vergleichende Untersuchung von chemisch und pharmakologisch veränderten dentalen Titan- und Zirkondioxid-Implantatoberflächen: Eine Studie am Schaf.«)

Sechs unterschiedliche Implantattypen wurden in das Becken von Schafen implantiert und hinsichtlich ihrer Osseointegration nach zwei, vier und acht Wochen makroskopisch, radiologisch und histomorphometrisch untersucht. Bei den zwei chemisch und den beiden pharmakologisch modifizierten Implantaten handelte es sich um Titan-Implantate mit anodisierten Plasmabeschichtungen, Kalziumphosphatbeschichtungen, Beschichtungen aus Bisphosphonaten oder Kollagen Typ I mit Chondroitinsulfat. Ein Implantattyp aus Zirkondioxid und ein weiteres Titan-Implantat mit einer gesandstrahlten und geätzten Oberfläche wurden ebenfalls in die Untersuchung einbezogen. Alle Implantate waren zum Todeszeitpunkt der Versuchstiere gut osseointegriert. Alle Titan-Implantate hatten nach zwei Wochen einen ähnlich hohen Knochen-Implantat-Kontakt von 57-61%. Beim Zirkondioxid-Implantat konnte ein höherer mittlerer Implantat-Knochen-Kontakt von 77% gemessen werden. Die pharmakologisch veränderten Implantate (78-79%) und das chemisch veränderte Implantat mit

einer Kalziumphosphatschicht (83%) zeigten nach acht Wochen ähnliche Resultate wie das Referenzimplantat (80%). Signifikante Unterschiede bezüglich des Knochen-Implantat-Kontakts waren nicht messbar.

Klinische Studien am Menschen

Kohal RJ, Knauf M, Larsson B, Sahlin H, Butz F.
One-piece zirconia oral implants: one-year results from a prospective cohort study. 1. Single tooth replacement.
J Clin Periodontol. 2012 Jun;39(6):590-7.

(»Einteilige Zirkondioxid-Implantate: Einjahresergebnisse einer prospektiven Kohortenstudie. 1. Einzelzahnersatz.«)

Ziel der vorliegenden Kohortenstudie war die Evaluation klinischer und radiologischer Ergebnisse einer Einzelzahnversorgung mit einteiligen Zirkondioxid-Implantaten. Bei 65 Patienten wurden Zirkondioxid-Implantate im einphasigen Vorgehen inseriert und sofort mit provisorischen Kronen versorgt. Die Messung des periimplantären Knochenverlusts erfolgte radiologisch anhand des Vergleichs standardisierter Röntgenaufnahmen direkt nach Implantat-Insertion und nach einjähriger Belastung. Der Einfluss verschiedener Parameter auf einen krestalen Knochenverlust wurde mittels univariater Analysen ermittelt. Nach Ablauf eines Jahres gingen drei Implantate verloren, was einer kumulativen Überlebensrate von 95,4% entspricht. 34% aller Implantate wiesen mindestens einen Knochenverlust von 2 mm auf und bei 14% konnte ein Verlust von mehr als 3 mm festgestellt werden. Mittels der univariaten Analysen konnten keine signifikanten Einflussfaktoren für den marginalen Knochenverlust ermittelt werden. Die kumulative Überlebensrate war mit der für Titan-Implantate in der Literatur angegebenen Überlebensraten vergleichbar. Demgegenüber war das Ausmaß an Knochenverlust bei dem untersuchten Implantatsystem höher als bei konventionellen zweiteiligen Titan-Implantaten. Daher kann das hier vorgestellte Implantatsystem aus Zirkondioxid nicht für den klinischen Einsatz empfohlen werden.

Payer M, Arnetzl V, Kirmeier R, Koller M, Arnetzl G, Jakse N. Immediate provisional restoration of single-piece zirconia implants: a prospective case series - results after 24 months of clinical function.

Clin Oral Implants Res. 2012 Feb 15. [Epub ahead of print]

(»Immediatversorgung mit einteiligen Zirkondioxid-Implantaten: Ergebnisse einer prospektiven Fallserie nach 24 Monaten Tragezeit.«)

Das Ziel der vorliegenden prospektiven Fallserie war die Evaluation der Ergebnisse von Immediatversorgungen auf einteiligen Zirkondioxid-Implantaten. Bei 20 Patienten erfolgte eine Versorgung mit 11 Einzelzahnimplantaten im Oberkiefer und neun im Unterkiefer. Die Immediatversorgung erfolgte mittels CAD/CAM-hergestellter, vollkeramischer Kronen, die keine Kontaktbeziehungen zum Antagonisten hatten. Nach viermonatiger Tragezeit erfolgte die definitive Versorgung mit Vollkeramikkronen. Nach 24 Monaten wurden die Implantate mit den Parametern Plaque Index (PI), Blutungsindex (BOP), Periotest® (PV), Pink Aesthetic Score (PES), mittleres röntgenologisches Knochenlevel (MBL) sowie der Überlebens-, bzw. Erfolgsrate nachuntersucht. Ein Implantat ging vier Monate nach der Insertion verloren, was einer Überlebens-, bzw. Erfolgsrate von insgesamt 95% entsprach. Die übrigen Implantate blieben während der Beobachtungszeit stabil (PV). PI und BOP verbesserten sich innerhalb der Beobachtungszeit von anfangs 27% auf 22% (PI) und von 25% auf 15% (BOP). Der PES verbesserte sich in statistisch nicht signifikanter Weise von 8,13 auf 10,0. Innerhalb des ersten Jahres nach Implantatinsertion fand ein statistisch signifikanter, röntgenologisch messbarer krestaler Knochenverlust (MBL) von 1,01 mm statt (p<0,001). Nach Ablauf der Beobachtungsdauer konnte ein weiterer, jedoch nicht mehr statistisch signifikanter Verlust des MBL auf 1,29 mm gemessen werden.

Nickenig HJ, Schlegel KA, Wichmann M, Eitner S. Expression of interleukin 6 and tumor necrosis factor alpha in soft tissue over ceramic and metal implant materials before uncovering: a clinical pilot study.

Int J Oral Maxillofac Implants. 2012 May-Jun;27(3):671-6.

(»Freisetzung von Interleukin 6 und Tumornekrosefaktor alpha im Weichgewebsbereich von Implantatmaterialien aus Keramik und Metall vor ihrer Freilegung: Eine klinische Pilotstudie.«)

Die Studie wurde bei sechs Patienten im Split Mouth-Design durchgeführt. Es wurden insgesamt 24 Implantate eingesetzt (vier pro Patient), die mit Schrauben aus je vier unterschiedlichen Materialien abgedeckt wurden. Dabei wurden Abdeckschrauben aus den keramischen Materialen Niob-Titan-Oxynitrid ([Ti,Nb] ON) und mittels plasmachemischer Oxidation behandeltem Niob-Titan-Oxynitrid (Ti,Nb)ON, einer Titan-Tantal-Legierung sowie Tantal verwendet. Biopsie-Proben wurden bei der Freilegung der Implantate vier Monate nach Implantatinsertion entnommen und mittels immunohistochemischer Färbung auf Interleukin 6 (IL-6) und Tumornekrosefaktor Alpha (TNF-alpha) untersucht. Im Vergleich zu den Abdeckschrauben aus Metall konnte bei den Keramikmaterialien eine statistisch signifikante, geringere Freisetzung beider Faktoren ermittelt werden. Auf Grundlage dieser vorläufigen Ergebnisse handelt es sich bei den vorgestellten Keramikbeschichtungen um biokompatible Materialien, die in weiteren Studien untersucht werden sollten.

Gahlert M, Burtscher D, Grunert I, Kniha H, Steinhauser E. Failure analysis of fractured dental zirconia implants. Clin Oral Implants Res. 2012 Mar;23(3):287-93.

(»Fehleranalyse bei frakturierten Zirkondioxid-Implantaten.«)

Bei 13 frakturierten von insgesamt 170 eingesetzten Z-Look3 Zirkondioxid-Implantaten mit einer mittleren Tragedauer von 36,75 Monaten wurden makroskopische und rasterelektronenmikroskopische Fehleranalysen durchgeführt. Alle frakturierten Implantate (12 Implantate mit einem Durchmesser von 3,75 mm und ein Implantat mit einem Durchmesser von 4,0 mm) waren im Frontzahnbereich von Ober- und Unterkiefer eingesetzt worden. Bei keinem der Implantate konnten Materialinhomogenitäten oder interne Materialfehler entdeckt werden. Es war jedoch anzunehmen, dass die Implantatbrüche durch mechanische Überlastung bedingt waren, ausgelöst durch Kerben und Riefen, die bei Oberflächenbearbeitung mittels Sandstrahler erzeugt wurden. Schlussfolgerung: Innerhalb einer Tragezeit von 36,75 Monaten konnte eine Frakturrate von annähernd 10% festgestellt werden. 92% der hier verwendeten Implantate gehörten mit einem Durchmesser von 3,25 mm zur Kategorie der so genannten "Durchmesserreduzierten Implantate". Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse können diese Implantate nicht für einen weiteren klinischen Einsatz empfohlen werden.

Borgonovo AE, Fabbri A, Vavassori V, Censi R, Maiorana C. Multiple teeth replacement with endosseous one-piece yttrium-stabilized zirconia dental implants.

Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2012 Nov 1;17(6):e981-7.

(»Multipler Ersatz von Zähnen mittels enossalen, einteiligen Implantaten aus Yttrium-stabilisiertem Zirkondioxid.«)

Das Ziel der Studie war die klinische und röntgenologische Evaluation der Überlebens- und Erfolgsrate von Yttrium-stabilisierten Zirkondioxid-Implantaten in einem Zeitraum von sechs bis 48 Monaten nach Insertion. Zu diesem Zweck wurden acht zahnlose Patienten mit insgesamt 29 Zirkondioxid-Implantaten versorgt. Alle Implantate erhielten provisorische Immediatversorgungen und wurden sechs Monate nach dem chirurgischen Eingriff definitiv versorgt. Die Überlebensrate der Implantate betrug 100%. Der mittlere krestale Knochenverlust innerhalb der ersten vier Jahre nach Implantatinsertion betrug 1,2 mm. Der hauptsächliche Knochenverlust fand innerhalb des ersten Jahres unter Belastung statt. In der Folgezeit konnte ein nur minimaler, nicht signifikanter weiterer Knochenverlust festgestellt werden.

Schlussfolgerung: Sofern röntgenologische Parameter als Kriterien für einen Implantaterfolg herangezogen werden, ist ein marginaler periimplantärer Knochenverlust von 0,9 bis 1,6 mm innerhalb des ersten Jahres unter Funktion als akzeptabel zu betrachten.

van Brakel R, Meijer GJ, Verhoeven JW, Jansen J, de Putter C, Cune MS.

Soft tissue response to zirconia and titanium implant abutments: an in vivo within-subject comparison.

J Clin Periodontol. 2012 Oct;39(10):995-1001.

(»Weichgewebsreaktionen auf Abutments aus Zirkondioxid und Titan: Eine in vivo-Vergleichsuntersuchung im "Within Subjects-Design".«)

Bei 20 Patienten wurde in einem randomisierten Verfahren je ein Implantat-Abutment aus Zirkondioxid oder Titan im Split Mouth-Design eingesetzt. Nach drei Monaten in situ konnten gepaarte Proben von 17 Patienten in die Analyse einbezogen werden und es wurden Biopsie-Präparate des periimplantären Weichgewebes entnommen und histologisch untersucht. Die Anzahl neugebildeter Gefäße und der Entzündungszustand (in einem Entzündungs-Score der Stufen 1 bis 4) wurden zusätzlich bestimmt. Alle Proben zeigten ein gut keratinisiertes Plattenepithel, das im Bereich des Abutments kontinuierlich in ein Saumepithel überging. Es waren nur geringe Anzeichen einer Entzündung erkennbar und es konnten zwischen den Zirkondioxid- und Titan-Abutments keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Gefäßdichte oder dem Entzündungsgrad ermittelt werden.

Al-Ahmad A, Wiedmann-Al-Ahmad M, Faust J, Bächle M, Follo M, Wolkewitz M, Hannig C, Hellwig E, Carvalho C, Kohal R. Biofilm formation and composition on different implant materials in vivo.

J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2010 Oct;95(1):101-9.

(»Bildung von Biofilm und seine Zusammensetzung bei unterschiedlichen Implantatmaterialien in vivo.«)

In der vorliegenden Studie wurde die Anlagerung von Biofilm auf Titan-Implantaten mit maschinierter Oberfläche (Ti-m), modifiziertem Titan (TiUnite), modifiziertem Zirkondioxid (ZiUnite), maschiniertem, aluminiumverstärktem Zirkondioxid (ATZ-m), gesandstrahltem, aluminiumverstärktem Zirkondioxid (ATZ-s) und maschiniertem Zirkondioxid (TZP-A-m) untersucht. Bovine Schmelzscheiben dienten als Kontrollen. 12 freiwillige Probanden trugen zu diesem Zweck eine Schiene mit den verschiedenen Materialien. Nach drei, bzw. fünf Tagen wurden die Proben mittels Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) und konfokaler Laserscan-Mikroskopie (CLSM) untersucht und die Level von Bakterien des Typus Streptococcus, Veilonella, F. nucleatum und A. naeslundii bestimmt Mit Ausnahme des Ti-m-Materials war die Dicke des Biofilms mit der Oberflächenrauigkeit der Prüfkörper assoziiert. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der bakteriellen Zusammensetzung des Biofilms in Abhängigkeit vom Material ermittelt werden.

Borgonovo AE, Arnaboldi O, Censi R, Dolci M, Santoro G. Edentulous jaws rehabilitation with yttrium-stabilized zirconium dioxide implants: two years follow-up experience. Minerva Stomatol. 2010 Jul-Aug;59(7-8):381-92.

(»Rehabilitation des zahnlosen Unterkiefers mittels Implantaten aus Yttrium-stabilisierter Zirkondioxid-Keramik: Erfahrungen aus einem zwei Jahres-Follow up.«)

64 einteilige Implantate mit einer gesandstrahlten, rauen Oberfläche aus Brezirkon (WhiteSky, Bredent, Senden, Deutschland) wurden an der Universitätszahnklinik Mailand bei 18 Patienten in einem Zeitraum von Januar 2007 bis Januar 2009 inseriert. Das klinische Follow up betrug zwischen sechs und 24 Monate post implantationem. Die Erfolgsrate betrug 89%, bei Erfolgsraten von 97% in ortsständigem Knochen und 74% in augmentiertem Knochen.

Schlussfolgerung: Yttrium-stabilisierte Zirkondioxid-Implantate könnten aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften, ihrer guten Integration im Gewebe und ihrer Ästhetik zukünftig in der Zahnmedizin vermehrt eingesetzt werden.

Berge TI, Grønningsaeter AG.

Survival of single crystal sapphire implants supporting mandibular overdentures.

Clin Oral Implants Res. 2000 Apr;11(2):154-62.

(Ȇberlebensdauer von Implantaten aus Aluminiumoxid-Keramik bei Versorgung mit Unterkiefer-Deckprothesen.«)

Bei 30 Patienten wurden im Zeitraum zwischen 1984 bis 1991 116 Implantate aus Aluminiumoxid-Keramik (Bioceram, Kyocera) zur Fixierung von Unterkiefer-Deckprothesen inseriert. 15 Patienten mit 56 Implantaten standen für ein klinisches und radiologisches Follow up zur Verfügung. Die Kaplan-Meier-Überlebenszeitanalyse ergab eine Implantat-Überlebensrate von 68,66% bei einer mittleren Überlebenszeit von 11,44 Jahren. Uni- und multivariate Cox-Regressionsanalysen ergaben bei Patienten, die zum Zeitpunkt der Implantatinsertion älter als 60 Jahre waren und bei Rauchern ein erhöhtes Implantat-Verlustrisiko. Auch eine geringe Erfahrung der Operateure konnte mit einem erhöhten Risiko für einen Implantat-Verlust assoziiert werden. Die qualitative Analyse ergab einen mittleren jährlichen Knochenverlust von 0,2 mm. Die Langzeitergebnisse der Behandlung mittels Implantaten aus Aluminiumoxid-Keramik zur Fixierung von Unterkiefer-Deckprothesen ergaben, dass Implantate dieses Typs anderen Implantaten unterlegen sind.

Garine WN, Funkenbusch PD, Ercoli C, Wodenscheck J, Murphy wc

Measurement of the rotational misfit and implant-abutment gap of all-ceramic abutments.

Int | Oral Maxillofac Implants. 2007 Nov-Dec; 22(6):928-38.

(»Messung des Rotationsspielraums und des Mikrospalts zwischen Implantat und Abutment bei Abutments aus Vollkeramik.«)

20 Implantate (10 Noble Biocare-Implantate, 10 Biomet/3i-Implantate) mit Außensechskant-Verbindung und 50 Abutments (je 10 Abutments der Fabrikate Procera Zirconia, Procera Alumina, Esthetic Ceramic Abutment, ZiReal und GingiHue post ZR Zero Rotation) wurden miteinander kombiniert und rasterelektronenmikroskopisch vor und nach Rotationstests (dreimal im und gegen den Uhrzeigersinn) und zur Bestimmung des Rotationsspielraums und des Mikrospalts untersucht. Der mittlere Rotationsspielraum, gemessen in Winkelgraden, betrug bei Procera Zirconia 4,13 Grad, bei Procera Alumina 3,92 Grad, bei Esthetic Ceramic 4,10 Grad, bei ZiReal 3,48 Grad und 1,61 Grad bei GingiHue post ZR. Bei allen Implantaten konnten Verarbeitungsungenauigkeiten bei der Außensechskant-Verbindung ermittelt werden. Beim Gingi-Hue post ZR waren die geringsten Passungenauigkeiten messbar. Grundsätzlich waren bei Keramik-Abutments ohne Metallkragen größere Rotationsspielräume erkennbar, als bei Keramik-Abutments mit Metallkragen.

Oliva J, Oliva X, Oliva JD.

One-year follow-up of first consecutive 100 zirconia dental implants in humans: a comparison of 2 different rough surfaces. Int J Oral Maxillofac Implants. 2007 May-Jun;22(3):430-5.

(»Einjahres-Follow-up zu 100 konsekutiv eingesetzten Zirkondioxid-Implantaten beim Menschen: Ein Vergleich zweier unterschiedlich rauer Oberflächen.«)

Einteilige Implantate aus Zirkondioxid (CeraRoot, Barcelona, Spanien), eines davon mit rauer Oberfläche und fünf unterschiedlichen Designs wurden bei 36 Patienten (Durchschnittsalter 50 Jahre) mit oder ohne Lappenbildung eingesetzt. In Fällen mit insuffizientem horizontalem oder vertikalem Knochenlager wurden gleichzeitige augmentative Maßnahmen durchgeführt. Implantate im Frontzahnbereich erhielten provisorische Sofortversorgungen. Implantate mit einem Torque niedriger als 35 N wurden mittels Adhäsivtechnik an den Nachbarzähnen, bzw. Nachbarimplantaten befestigt, um die Implantatmobilität und das Risiko für einen Implantatverlust zu reduzieren. Die definitive Versorgung mit Vollkeramik-Kronen erfolgte vier Monate nach Implantatinsertion bei Implantaten mit gleichzeitigen augmentativen Maßnahmen und acht Monate bei Implantaten ohne gleichzeitige Augmentation. Die Implantat-Überlebensrate betrug sowohl für die Implantate mit und ohne raue Oberfläche gleichermaßen. Aus den vorläufigen Ergebnisse dieser Untersuchung kann geschlussfolgert werden, dass Zirkondioxid-Implantate mit rauer Oberfläche eine gangbare Alternative zum Ersatz fehlender Zähne darstellen.

Blaschke C, Volz U.

Soft and hard tissue response to zirconium dioxide dental implants – a clinical study in man.

Neuro Endocrinol Lett. 2006 Dec;27 Suppl 1:69-72.

(»Weich- und Hartgewebsreaktionen auf Implantate aus Zirkondioxid-Keramik – eine klinische Studie am Menschen.«)

Implantate aus Titan werden seit mehr als 40 Jahren erfolgreich in der Implantologie verwendet. In neueren Untersuchungen wird jedoch davon ausgegangen, dass Titan zu mehr Nebenwirkungen führt als bislang vermutet wurde. Zirkondioxid wird seit mehr als 30 Jahren in der orthopädischen Chirurgie verwendet und wird erst neuerdings als Ersatz für Metall bei Kronen- und Brückenversorgungen sowie für Abutments verwendet. Sowohl die Ergebnisse von in vitro- als auch in vivo-Studien zeugen von seinen sehr guten osseointegrativen Eigenschaften. Die vorliegende Studie zeigt, dass Implantate aus Zirkondioxid – neben ihrer ausgezeichneten Ästhetik – auch zu einem höheren Grad an Osseointegration und einer besseren Weichgewebsreaktion als Titan führen und somit eine realistische Alternative zu Titan-Implantaten darstellen.

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 Feb;75(2):292-6.

(»Bakterielle Besiedlung von Prüfkörpern aus Titan und Zirkondioxid: Eine in vivo-Studie am Menschen.«)

Das Ziel der Studie waren die Messung und der Vergleich des prozentualen Anteils der bakteriellen Kolonisation von Prüfkörpern aus Titan und Zirkondioxid. Bei zehn Patienten wurden zu diesem Zweck im Prämolaren- und Molarenbereich herausnehmbare Vorrichtungen aus Acryl eingesetzt, die im bukkalen Bereich mit Prüfkörpern aus Titan (Kontrollen) und aus Zirkondioxid (Test) bestückt wurden. Nach 24 Stunden wurden die Prüfkörper wieder entfernt und die bakterielle Besiedlung rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Der Anteil der mit Bakterien besiedelten Oberfläche war in der Testgruppe signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse zeigen, dass Zirkondioxid ein geringes bakterielles Kolonisationspotential aufweist und sich daher gut für die Herstellung von Implantat-Abutments eignen könnte.

Groessner-Schreiber B, Hannig M, Dück A, Griepentrog M, Wenderoth DF.

Do different implant surfaces exposed in the oral cavity of humans show different biofilm compositions and activities? Eur J Oral Sci. 2004 Dec;112(6):516-22.

(»Zeigen unterschiedliche Implantatoberflächen bei Exposition in der menschlichen Mundhöhle unterschiedliche Aktivität und Zusammensetzung des Biofilms?«)

Die Anlagerung von Plaque kann zu entzündlichen Reaktionen im Umfeld von Implantaten bewirken, die in der Folge zu Implantatverlusten führen können. In der vorliegenden in vivo-Studie wurden dünne, mit Titannitrit (TiN), Zirkonnitrit (ZiN) oder reinem Titan beschichtete Glasplättchen auf Schienen im Mund zweier erwachsener menschlicher Probanden befestigt, um den Einfluss der Beschichtungen im Vergleich zur Titan-Oberfläche auf die bakterielle Adhäsion zu untersuchen. Nach 60 Tagen intraoraler Exposition wurden die bakterielle Zusammensetzung und die Aktivität des Biofilms untersucht. Auf den reinen Titanoberflächen konnten eine höhere Anzahl Bakterien und eine hö-

here metabolische bakterielle Aktivität ermittelt werden, als auf den beschichteten Glasplättchen. Die geringste Anzahl Bakterien wurde auf den Glasplättchen mit der ZrN-Beschichtung gemessen.

RCT's

Zembic A, Bösch A, Jung RE, Hämmerle CH, Sailer I.

Five-year results of a randomized controlled clinical trial comparing zirconia and titanium abutments supporting single-implant crowns in canine and posterior regions.

Clin Oral Implants Res. 2012 Oct 2. [Epub ahead of print]

(»Fünfjahresergebnisse einer randomisiert kontrollierten klinischen Untersuchung zum Vergleich von Abutments aus Zirkondioxid und Titan bei Einzelimplantatversorgungen in der Eck- und Seitenzahnregion.«)

Bei 22 Patienten wurden 40 Einzelimplantate im Eck- oder Seitenzahnbereich des Ober- und Unterkiefers inseriert und in die Untersuchung einbezogen. Die Implantate wurden nach dem Zufallsprinzip entweder mit Abutments aus Zirkondioxid (ZrO2) und Vollkeramikkronen oder Titan-Abutments (Ti) und Verblendkronen aus Metallkeramik versorgt.

Die klinischen Untersuchungen der Suprakonstruktionen wurden unmittelbar bei der prothetischen Versorgung, nach sechs, 12, 36 und 60 Monaten mittels der klinischen Parameter Sondierung der Taschentiefen (probing pocket depth, PPD), Erfassung der Plaque (plaque control record, PCR) und Blutung bei Sondierung (bleeding on probing, BOP) durchgeführt. Dabei dienten die kontralateralen natürlichen Zähne als Kontrollen. Mittels Röntgenbildern wurde die krestale Höhe des periimplantären Knochens mesial (mesial bone level, mBL) und distal (dBL) des Implantates bestimmt. Nach einem mittleren Follow-up von 5,6 Jahren standen 18 Patienten mit 18 Zirkondioxid- und 10 Titan-Abutments für eine Nachuntersuchung zur Verfügung.

Die Überlebensrate der Implantate mit Zirkondioxid-Abutments betrug 88,9%, und die von Implantaten mit Titan-Abutments lag bei 90,0%. Bei den nachuntersuchten Implantaten konnten weder Frakturen der Abutments noch ein Verlust der prothetischen Rekonstruktion ermittelt werden. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Abutmentmaterialien bezüglich der klinischen Parameter PPD, PCR und BOP sowie der röntgenologischen Parameter mBL und dBL gemessen werden.

Systematische Reviews

Andreiotelli M, Wenz HJ, Kohal RJ.

Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review.

Clin Oral Implants Res. 2009 Sep;20 Suppl 4:32-47.

(»Sind Implantate aus Keramik eine realistische Alternative zu Titan-Implantaten? Eine systematische Literaturübersicht.«)

Das Ziel der Literaturübersicht war die Ermittlung klinischer Daten und Daten aus Tierversuchen zum Knochen-Implantat-Kontakt und zu Überlebens-, bzw. Erfolgsraten von Zirkondioxid-Implantaten. Dazu wurden Recherchen in dene Literaturdatenbanken der Cochrane Oral Health Group, des Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), MRDLINE (Ovid) und PubMed nach relevanter Literatur durchgeführt. Von mehr als 1.000 Artikeln erfüllten 25 die erforderlichen Kriterien. Randomisiert kontrollierte klinische Studien zu Zirkondioxid- und



Die bisher veröffentlichten Abstracts und Exzerpte der wissenschaftlichen Veröffentlichungen sind für pip-Leser jederzeit in den ePapers der pip auf www.pipverlag.de nachzulesen und zum Preis von nur € 4,49/ Ausgabe als App erhältlich in iTunes / App Store unter pipVerlag. Bisher erschienen:

Kurze Implantate (01/10), Extraktionsalveole und Kammerhalt (02/10), Sofortbelastung und Sofortversorgung (03/10), Periimplantitis (04/10), Mini-Implantate (01/11), Weichgewebsmanagement (02/11), Bisphosphonate u. orale Implantologie (03/11), Sinusboden-Elevationen (04/11), PRP und PRGF (01/12), Biologische Breite (02/12), Systemische Erkrankungen (3/12), All on Four (4/12)