



Weichgewebsheilung an einteiligen Zirkonoxidimplantaten im Vergleich zu Titan- und PEEK-Implantaten mit identischem Design: Eine histomorphometrische Studie am Hund



Felix Peter Koch, MD, DMD, MBA, PhD¹
 Dietmar Weng, DDS, MSc, PhD²
 Sonja Krämer, DMD¹
 Wilfried Wagner, MD, DMD, PhD¹

In dieser Studie wurde die Weichgewebsreaktionen an einteiligen Zirkonoxid- und Titanimplantaten bezogen auf ihre Insertionstiefe histomorphometrisch untersucht. Dazu wurden bei sechs Mischlingshunden beidseitig vier einteilige Implantate mit identischer Geometrie gesetzt: ein unbeschichtetes Zirkonoxidimplantat, ein calciumfreisetzendes titanoxidbeschichtetes Zirkonoxidimplantat, ein Titanimplantat und ein experimentelles Implantat aus synthetischem Polyetheretherketon. Die Implantate heilten im Split-mouth-Design gedeckt oder nicht gedeckt ein. Nach vier Monaten wurden die dissezierten Blöcke für die histologische Untersuchung der marginalen Mukosa, der apikalen Ausbreitung des Barriereepithels und des marginalen Niveaus des Knochen-Implantat-Kontakts mit Toluidinblau gefärbt. Auch der Entzündungsstatus am kristallinen Anteil des Implantats wurde bestimmt. Histomorphologisch fand sich am Knochen-Implantat-Kontakt die typische Weichgewebskonfiguration aus Barriereepithel und Bindegewebe. Die Länge des Barriereepithels unterschied sich in Bezug auf Material oder Einheilungsform histomorphometrisch nicht signifikant. Die Entzündungsreaktion war an den nicht gedeckt einheilenden Implantaten stärker, und die gedeckt einheilenden unbeschichteten Zirkonoxidimplantate wiesen eine verhältnismäßig geringe Entzündungsreaktion auf. Im Rahmen dieser Studie ist somit der Rückschluss möglich, dass mit unbeschichteten und beschichteten Zirkonoxidimplantaten ein ausreichendes Weichgewebsprofil erreicht werden kann, das dem von Titanimplantaten vergleichbar ist. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2013;33:623–631.)

¹ Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg Universität Mainz, Mainz, Deutschland.

² Gastdozent, Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werkstoffkunde, Zahnmedizinische Fakultät, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland; Privatpraxis, Starnberg, Deutschland.

Korrespondenz an: Dr. Felix Peter Koch, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Augustusplatz 2, 55131 Mainz, Deutschland. Fax: +49 176 22633199.
 E-Mail: koch@mkg.klinik.uni-mainz.de

©2013 by Quintessence Publishing Co Inc.

Seit 1969, als Sandhaus das erste Implantat aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) vorstellte, werden dentale Implantate aus Keramik verwendet. 1974 wurde das Tübingen-Implantat vorgestellt und in klinischen Studien untersucht. Obwohl die biologischen Materialeigenschaften eine ausreichende Osseointegration gewährleisten, führten häufige Frakturen zum Ersatz von Al_2O_3 durch Titan¹. Zirkonoxid weist ganz ähnliche Eigenschaften auf wie Titan². In mehreren In-vivo-Tierstudien wurde die Knochenreaktion auf Zirkonoxidimplantate untersucht^{3–6}. Vor Kurzem haben die Autoren belegt, dass die Osseointegration von Zirkonoxidimplantaten derjenigen von Titanimplantaten vergleichbar ist⁷.

Allerdings hängt der Langzeiterfolg von Implantaten nicht nur von ihrer Osseointegration ab, sondern auch von der Schaffung einer periimplantären Mukosabarriere, die den Knochenrand wirkungsvoll zur Mundhöhle hin versiegelt. Nach der Implantation bildet sich aus dem Thrombus zunächst Granulationsgewebe und dann ein Barriereepithel und reifes Bindegewebe^{5,8}.

Ein fester Weichgewebskontakt des Implantats verhindert die Bildung von Nischen, die das Wachstum von Bakterien begünstigen. Das Barriereepithel enthält Langerhans-Zellen als Zellen der lokalen Immunabwehr⁹. Im Gegensatz zum



Abb. 1 Makroskopisches Implantatdesign.

natürlichen Saumepithel der Zähne ist das periimplantäre Epithel nur locker über Hemidesmosomen und im unteren Bereich des Epithel-Implantat-Kontakts über die interne Basallamina am Implantat befestigt¹⁰. Entsteht auf Kosten des befestigten Bindegewebes langes Barriereepithel, können Weichgewebstaschen auftreten, wenn keine korrekte Versiegelung gegenüber der Mundhöhle besteht¹¹. Diese fördern die Ansiedlung von Bakterien, die bei einer eingeschränkten Immunabwehr eine Periimplantitis auslösen können^{12,13}. Außerdem kann das schnelle Epithelwachstum entlang der Implantat-achse die Osseointegration stören und zum Knochenverlust führen, wie Untersuchungen der Mukosabarriere an Abutments verschiedener Materialien (Titan, Zirkonoxid und Goldplatinlegierung) gezeigt haben¹⁴.

In der vorliegenden Studie wurde in vivo die Weichgewebsbildung an

Zirkonoxidimplantaten mit und ohne Titanoxidbeschichtung (TiO_2) untersucht und mit der Weichgewebsbildung an Titanimplantaten verglichen. Außerdem wurden experimentelle Implantate aus synthetischem Polyetheretherketon (PEEK) untersucht. PEEK ist ein bioinertes Material, das in der Wirbelsäulenchirurgie sowie bei dentalen Implantaten für Einheilkappen verwendet wird^{15,16}.

Zusätzlich wurde der Einfluss der Insertionstiefe und der Art der Einheilung auf die Weichgewebsbildung ermittelt.

Material und Methode

Zwei Testimplantate aus Zirkonoxid – ein unbeschichtetes und ein neuartiges, beschichtetes – wurden mit einem Kontrollimplantat aus Titan verglichen. Das beschichtete Zirkonoxidimplantat war von einer calciumfreisetzenden TiO_2 -Sol-Gel-Schicht bedeckt. Durch das neuartige Dip Coating mit anschließender Hydrolyse des Sols und Filmbildung unter kontrollierter Feuchtigkeit wird eine Schichtdicke von unter $1\ \mu\text{m}$ hergestellt¹⁷. Diese dünne Schicht erhält die Mikrostruktur des Implantats. Die Klebekraft der Schicht betrug $100\ \text{N}/\text{mm}^2$. Das dritte Testimplantat bestand aus Polyetheretherketon (PEEK) und wurde als neuartiger, experimenteller Ansatz in die Studie aufgenommen.

Um nur die Eigenschaften des Biomaterials zu untersuchen, unterschieden sich Test- und Kontrollgruppen lediglich hinsichtlich des Biomaterials, nicht aber bezüglich des makroskopischen Implantatdesigns (Abb. 1). Auch das Operationsverfahren war in allen Fällen das Gleiche. Die mikroskopische Oberflächenstruktur der Implantate erhielt durch Sandstrahlen mit Al_2O_3 eine Rauigkeit (R_A) von $1,5$ bis $3,0\ \mu\text{m}$ und war ebenfalls bei

allen Implantaten ähnlich. Der einzige Unterschied entstand durch die $1\text{-}\mu\text{m}$ -dicke TiO_2 -Beschichtung der Zirkonoxidimplantate. Der Elastizitätsmodul betrug für Zirkonoxid 200 bis $220\ \text{GPa}$, für Titan $110\ \text{GPa}$ und für das synthetische Material über $3\ \text{GPa}$.

Studiendesign

Die Implantate aus reinem Zirkonoxid, calciumfreisetzendem TiO_2 -beschichtetem Zirkonoxid, PEEK und Titan wurden in die Unterkiefer von Mischlingshunden gesetzt. Die Studie wurde in Übereinstimmung mit den Vorschriften der Food and Drug Administration für Good Laboratory Practice durchgeführt.

Die Studie erfolgte an insgesamt sechs Hunden, bei denen die unteren dritten und vierten Prämolaren und der erste Molar bilateral extrahiert wurden. Die Antagonisten im Oberkiefer wurden nicht entfernt. Nach einer Einheilungszeit von 10 Wochen wurden bukkale und linguale Mukoperiostlappen mobilisiert und die $4,0 \times 11,5\text{-mm}$ -Implantate aus unbeschichtetem bzw. beschichtetem Zirkonoxid, PEEK und Titan gesetzt. Im Split-mouth-Design heilten die Implantate der einen Unterkieferseite nicht gedeckt, während die der anderen Seite mit den Mukoperiostlappen abgedeckt wurden (Abb. 2). Dazu mussten die gedeckt einheilenden Implantate tiefer gesetzt werden ($0,5$ bis $1\ \text{mm}$). Im Vergleich zur Gruppe der nicht gedeckten Implantate lag die Plattform dieser Implantate auf Höhe des krestalen Knochens. Die Fäden wurden nach 14 Tagen entfernt. Die Hunde erhielten ab dem fünften präoperativen Tag und postoperativ für 14 Tage täglich Spiramycin $2 \times 750000\ \text{IU}$ und Metronidazol $125\ \text{mg}$. Während der viermonatigen Einheilungsphase erfolgte eine lokale

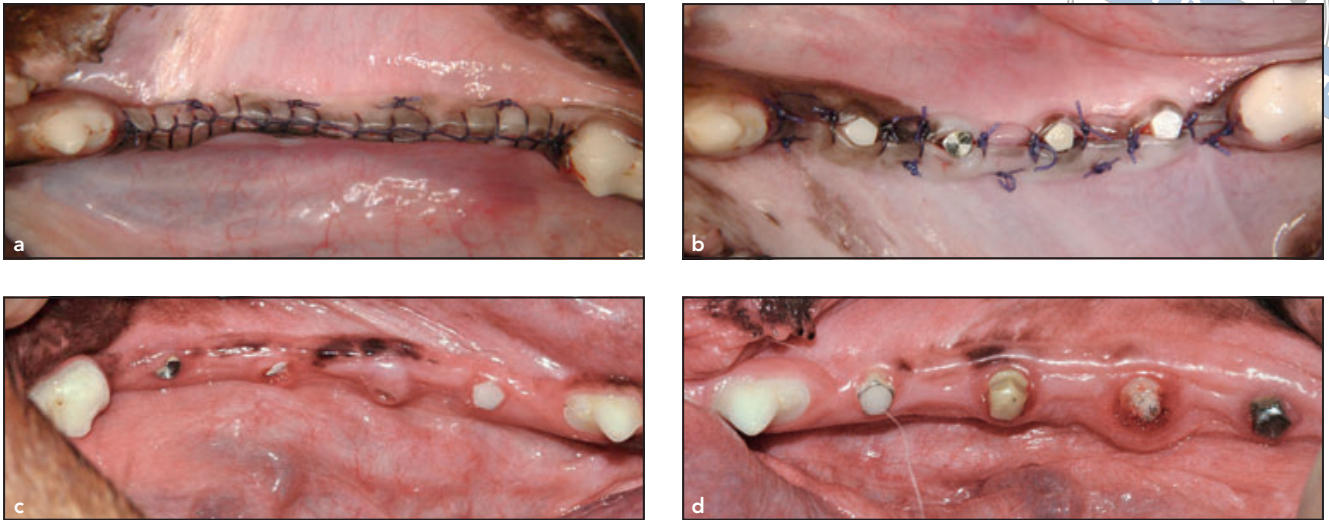


Abb. 2 (a) Gedeckte Einheilung. (b) Nicht gedeckte Einheilung. (c) Gedeckte Einheilung 12 Wochen nach der Implantation. (d) Nicht gedeckte Einheilung 12 Wochen nach der Implantation.

Desinfektion mit 0,2 % Chlorhexidin. Drei Monate postoperativ wurden die gedeckten Implantate operativ freigelegt und heilten für einen Monat nicht gedeckt. Nach insgesamt vier Monaten wurden die Tiere euthanasiert.

Die Köpfe wurden durch die arterielle Perfusion mit 10 % Formaldehyd in einem Phosphatpuffer bei pH 7 über die A. carotis fixiert. Die Unterkiefer wurden en bloc reseziert. Jede Unterkieferhälfte wurde in 10 % gepufferter Formalinlösung fixiert.

Histologische Präparation und Analyse

Nachdem die Präparate für sechs Wochen in 50 bis 99 % Ethanol gelagert worden waren, wurden sie in Technovit (Heraeus Kulzer) eingebettet. Zur Evaluation der möglichen Papillenhöhe wurden die Knochen-Technovit-Blöcke in mesiodistaler und longitudinaler Richtung durchtrennt und mit einer Diamantscheibe abgeschliffen und poliert, sodass die Schnittdicke

am Ende bei 20 μm lag¹⁸. Anschließend wurden sie mit Toluidinblau gefärbt. Die histologische Untersuchung wurde mit einem Leitz-DM-RBE-Mikroskop (Leica) durchgeführt, das mit einer Kamera ausgestattet war (WILD MP 52, Leica).

Für die histometrische Analyse wurden folgende Bezugspunkte aufgesucht: der Implantatrand (I), der krestale Weichgewebsrand (TM), die apikale Ausdehnung des Barriereepithels (E) und das marginale Niveau des Knochen-Implantat-Kontakts (BIC) (Abb. 3). Mithilfe der Computeranalyse (GSA Image Analyser, Bansemer & Scheel) wurden parallel zur Längsachse der Implantate die vertikalen Abstände zwischen diesen Punkten gemessen. Die Länge der Mukosa wurde durch BIC-TM ermittelt. Außerdem wurde die Länge des Barriereepithels am makroskopischen Rand von Implantatkopf und -schulter ermittelt (E-TM).

Als weiterer Parameter wurde die Höhe der Mukosa unmittelbar lateral des Implantats sowie 0,5 mm neben dem Implantat gemessen (M1, M2). Der Höhenunterschied an die-

sen beiden Messpunkten wurde ersatzweise für die mögliche Papillenbildung an dem jeweiligen Implantat gewertet. Sofern dieser Wert positiv ist, nimmt die periimplantäre Gingivahöhe zu, ist er negativ, besteht eine periimplantäre Rezession.

Der Grad der periimplantären Entzündung wurde vom Gingiva-Index abgeleitet. Dieser Index beurteilte das Leukozyteninfiltrat des Barriereepithels: Grad 1: kein Leukozyteninfiltrat und nur wenige Leukozyten; Grad 2: Infiltrat des intakten Barriereepithels mit einer mäßigen Anzahl von Leukozyten; Grad 3: zerstörtes Barriereepithel und zahlreiche Leukozyten, die Gingivaabszesse bilden (Abb. 4). Für die Evaluation der Weichgewebe wurden die verschiedenen Einheilungsformen (gedeckt bzw. nicht gedeckt) ausgewertet.

Aus statistischen Gründen wurde für die mesiale und distale Seite jedes Implantatschnitts ein Mittelwert je Schnitt gebildet. Dann wurde aus allen Schnitten jedes Implantats ein Mittelwert gebildet. Aufgrund der geringen Anzahl der Tiere wurde keine Normalverteilung angenommen

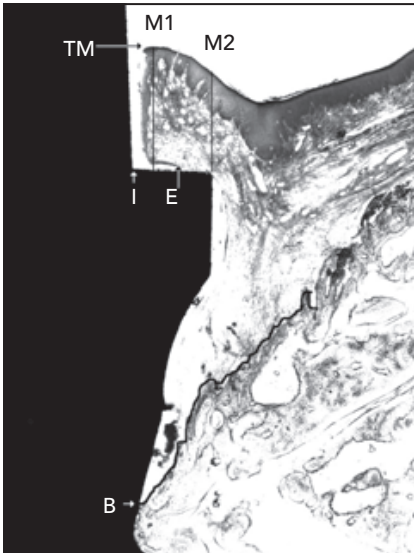


Abb. 3 Schleifpräparat mit den Orientierungspunkten der histomorphometrischen Messungen: Implantatrand (I), krestaler Weichgewebsrand (TM), apikale Ausbreitung des Barriereepithels am Implantat (E), Randniveau des Knochen-Implantat-Kontakts (BIC) und Mukosahöhe direkt am Implantat (M1) und in einer Entfernung von 0,5 mm (M2).

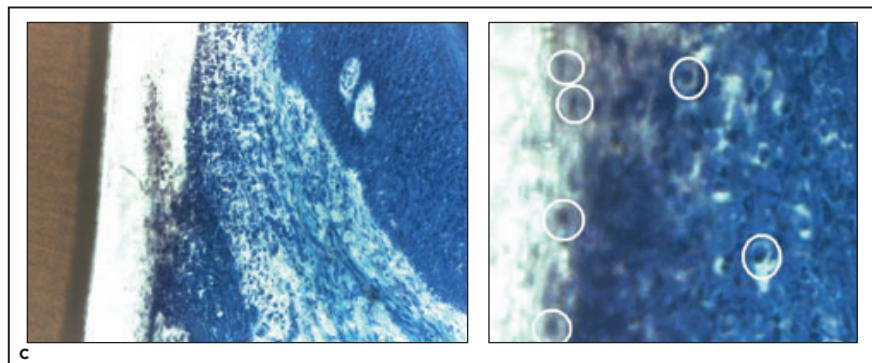
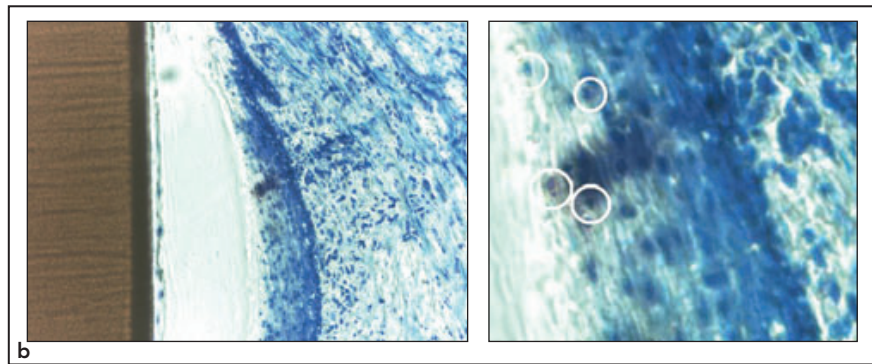
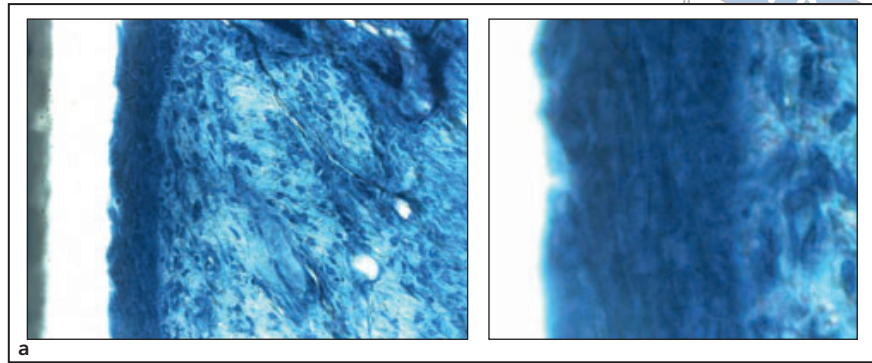


Abb. 4 (rechts) Entzündungsindex (links: Vergrößerung x 100; rechts: Vergrößerung x 400). (a) Keine Leukozyten im Barriereepithel. (b) Leukozyteninfiltrat im Barriereepithel, mäßig viele Leukozyten (Kreise). (c) Viele Leukozyten (Kreise) dringen in das Barriereepithel ein und zerstören es, sodass parodontale Abszesse entstehen.

und stattdessen nicht parametrische Tests durchgeführt. Der paarweise Vergleich erfolgte mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest. Für jede Variable wurde das Signifikanzniveau der sechs paarweisen Vergleiche zwischen den Materialien nach Bonferroni für multiple Vergleiche korrigiert ($\alpha = 0,05/6 = 0,0083$). Dadurch blieb das multiple Signifikanzniveau für jede Variable bei $\alpha = 0,05$.

Ergebnisse

Klinische Daten

Alle 48 Implantate erreichten die Primärstabilität. Während der Einheilungsphase gab es keinen Implantatmisserfolg. Bei der klinischen Untersuchung fiel nach durchschnittlich sieben Wochen eine vorzeitige

Exposition der Implantate auf. Offenbar wurde die Mukosa über den Implantaten unmittelbar nach der Insertion durch das Kauen belastet, weil die Zähne im Oberkiefer nicht entfernt worden waren. Daher wiesen 30 % der Zirkonoxidimplantate am Kopf Risse auf, mehrere der Titanimplantatköpfe waren abgerundet und 79 % der gedeckten Implantate vor der operativen Freilegung

spontan exponiert. Die Gingiva war durchschnittlich sieben Wochen nach der Implantation perforiert. Von den unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten war das erste nach sechs Wochen spontan exponiert (Tabelle 1).

Weichgewebshistologie

Die periimplantäre Mukosa von unbeschichteten und beschichteten Zirkonoxid- sowie Titanimplantaten wies die typische Konfiguration aus Barriereepithel und Bindegewebe auf. Die krestale Mukosa enthielt kleine Gefäße und Leukozyten am Barriereepithel. Länge und Breite des Barriereepithels variierten stark und reichten von einer bis zwei Zelllagen (Abb. 5a) bis zu kurzem Barriereepithel aus mehreren Zelllagen (Abb. 5b).

Keine signifikanten Unterschiede bezogen auf Implantattyp und Einheilungsmodus fanden sich hingegen bei der Mukosahöhe, einschließlich des Epithels und Bindegewebes (Abb. 6). Das unbeschichtete Zirkonoxidimplantat erreichte in der Gruppe mit nicht gedeckter Einheilung eine geringere Weichgewebshöhe als die Implantate aus Titan und PEEK. Bei den gedeckt einheilenden Implantaten war das Weichgewebe an den beschichteten und unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten höher als am Titan- und PEEK-Implantat. Diese Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

Das längste Barriereepithel fand sich bei den unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten. Abgesehen von den PEEK-Implantaten war das Barriereepithel an den nicht gedeckt einheilenden Implantaten länger als an den gedeckt einheilenden. Das Barriereepithel unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen (Tabelle 2).

Spontane Freilegung (Woche)	Material				Gesamt
	Unbeschichtetes Zirkonoxid	Beschichtetes Zirkonoxid	Titan	PEEK	
2	0	0	0	1	1
4	0	2	1	1	4
6	2	2	1	0	5
8	2	1	1	1	5
10	1	0	0	0	1
12	0	1	0	2	3
Gesamt	5 (83 %)	6 (100 %)	3 (50 %)	5 (83 %)	19 (79 %)

Am Ende der viermonatigen Heilungsphase waren alle gedeckt einheilenden Implantate freigelegt (n = 6).

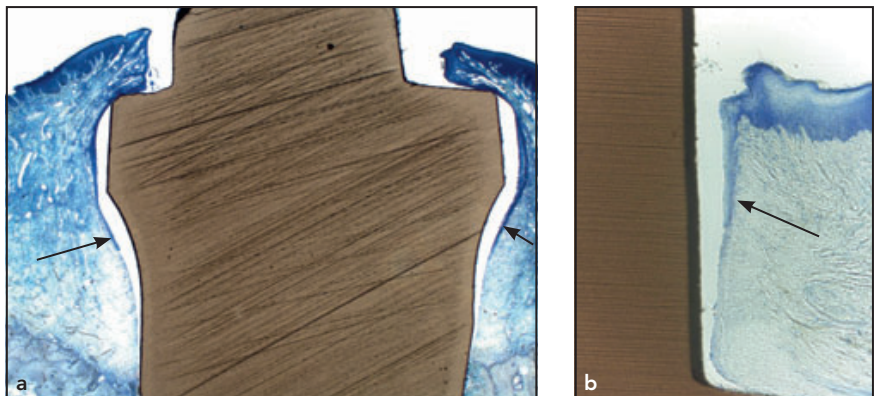


Abb. 5 (a) Langes Barriereepithel (Pfeil) an einem beschichteten Zirkonoxidimplantat (Vergrößerung x 2,5; kleines Bild x 400) (b) Kurzes, aber breites Barriereepithel (Pfeil) an einem beschichteten Zirkonoxidimplantat (Vergrößerung x 2,5).

Die Differenz zwischen M1 und M2 spiegelt das Gingivaprofil am Implantathals wider. Obwohl die Unterschiede zwischen den Implantattypen nicht signifikant waren, wiesen die nicht gedeckt einheilenden unbeschichteten Zirkonoxidimplantate die höchste mögliche Papillenbildung am Implantathals auf. Die niedrigste oder sogar negative mögliche Papillenbildung fand sich

an den PEEK-Implantaten. Bei gedeckter Einheilung fanden sich keine Unterschiede bei der möglichen Papillenbildung an den Implantaten (Abb. 7).

Allgemein war die Standardabweichung bei den unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten mit nicht gedeckter Einheilung höher als bei den Titanimplantaten mit gedeckter Einheilung (Tabelle 2).

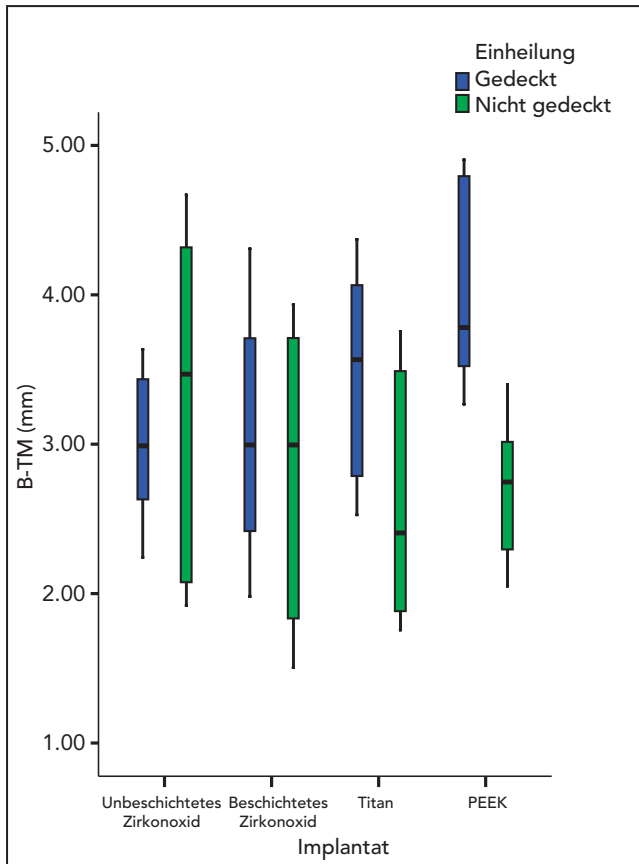


Abb. 6 Gesamte Weichgewebshöhe (Boxplots mit Median, Quartilen und Whiskern für Minimum/Maximum).

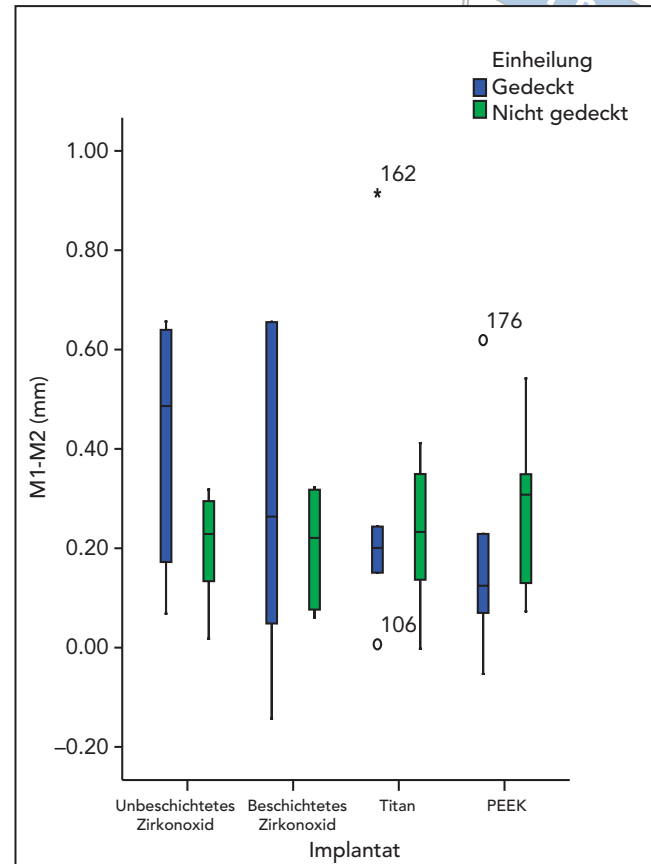


Abb. 7 Potenzial der Papillenbildung abhängig vom Unterschied zwischen M1 und M2 (Boxplots mit Median, Quartilen und Whiskern für Minimum/Maximum).

Entzündungsindex

Beim Vergleich der nicht gedeckten und gedeckten Einheilung wiesen die gedeckt einheilenden Implantate geringere Entzündungszeichen auf. Auch hier war der Unterschied jedoch nicht signifikant. Die gedeckt einheilenden unbeschichteten Zirkonoxid-implantate wiesen den geringsten Entzündungsindex auf ($P = 0,11$ im Vergleich zu gedeckt einheilenden Titanimplantaten). Der höchste Entzündungsindex fand sich bei den nicht gedeckt einheilenden PEEK-Implantaten (Abb. 8).

Diskussion

In dieser Studie wurde histometrisch die Weichgewebsreaktion an Implantaten aus vier verschiedenen Materialien untersucht. Die Implantate heilten gedeckt oder nicht gedeckt ein. Ebenso wie in anderen Studien bestand das Weichgewebsattachement an den Implantaten aus Barriereepithel und Bindegewebe^{8,18}. Histomorphologisch fiel die bereits von Buser et al.¹⁸ beschriebene geringere Gefäßdichte im Bindegewebe im Vergleich zum kristallinen epithelialen Weichgewebe auf.

Die histologischen Präparate wurden vier Monate nach der Implantation entnommen, sodass die Reifung von Epithel und Bindegewebe vermutlich abgeschlossen war, wie von Berglundh et al.⁸ beschrieben.

Die Histometrie von Barriereepithel und Bindegewebe ergab keine signifikanten Unterschiede ($\alpha > 0,05$). Das Barriereepithel erreichte 1,1 bis 2,2 mm (E-TM) und das Bindegewebe 1,0 bis 2,7 mm (BIC-E); dies sind Bereiche, die auch in anderen Studien beschrieben wurden^{8,19}. Bei den gedeckt einheilenden unbeschichteten Zirkonoxid- und Titanimplantaten

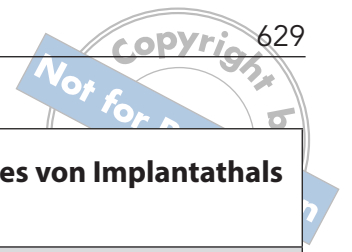


Tabelle 2 Barriereepithel, gemessen entlang des makroskopischen Randes von Implantathals und -schulter

Implantmaterial	Einheilung	Mittelwert (mm)	SA (mm)	Median (mm)	Minimum-Maximum (mm)
Unbeschichtetes Zirkonoxid	Nicht gedeckt	2,01	0,7	1,90	1,4–3,1
	Gedeckt	1,63	1,1	1,38	0,7–1,7
Beschichtetes Zirkonoxid	Nicht gedeckt	1,65	0,9	2,07	0,4–2,9
	Gedeckt	1,73	0,6	1,51	1,1–2,6
Titan	Nicht gedeckt	1,97	0,5	1,93	1,3–2,5
	Gedeckt	1,28	0,6	0,97	0,9–2,4
PEEK	Nicht gedeckt	1,49	0,9	1,33	0,9–2,9
	Gedeckt	1,48	0,5	1,61	0,7–2,0

SA = Standardabweichung.

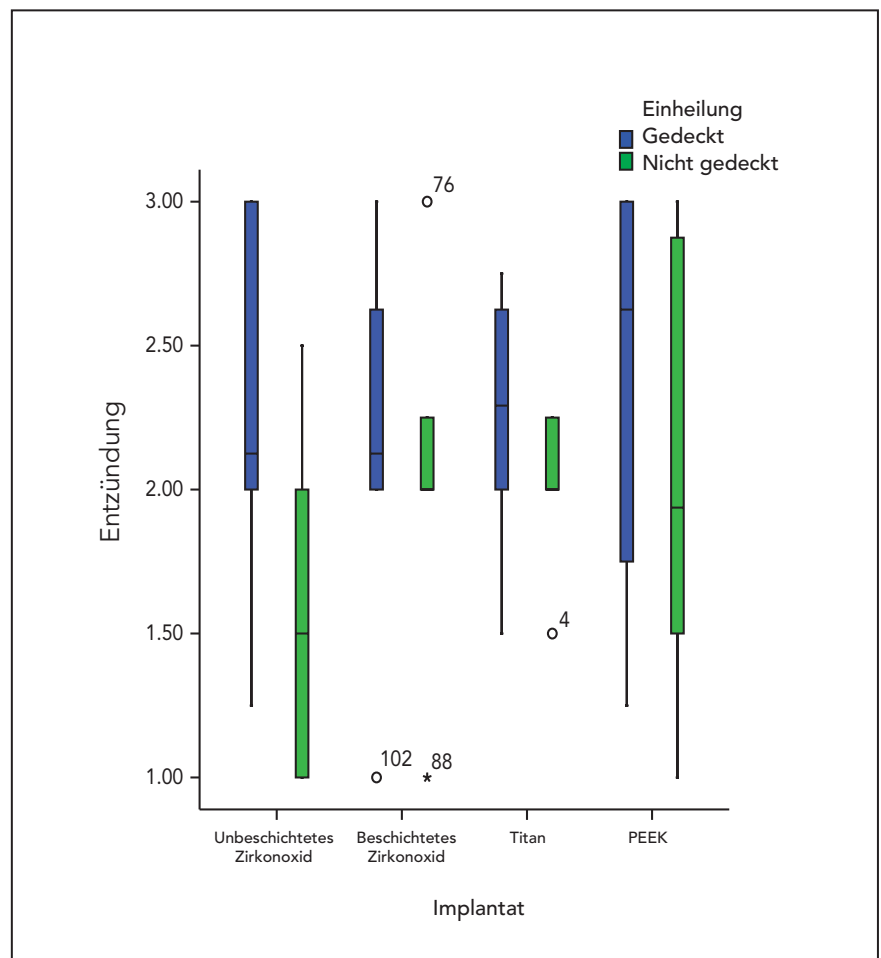


Abb. 8 Entzündungsindex (Boxplots mit Median, Quartilen und Whiskern für Minimum/Maximum).

war das Barriereepithel kürzer.

Bei den nicht gedeckt einheilenden, unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten bestand das periimplantäre Weichgewebe zu durchschnittlich 65 % aus Barriereepithel und zu 35 % aus Bindegewebe, bei den gedeckt einheilenden unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten bestand es zu gleichen Teilen aus Barriereepithel und Bindegewebe. Diese Daten stehen im Gegensatz zu anderen Studien, die keinen Zusammenhang zwischen der Menge und Zusammensetzung der periimplantären Mukosa und der Art der Einheilung herstellen konnten^{20,21}. Bei genauerer Betrachtung dieser Ergebnisse zeigt sich jedoch, dass nicht gedeckt einheilende Implantate tendenziell ein längeres Barriereepithel aufwiesen. Kohal et al. verglichen in einer experimentellen Studie an Affen die Formung des Weichgewebes und die Osseointegration an nicht gedeckt einheilenden reinen Zirkonoxid- und Titanimplantaten. Bei den reinen Zirkonoxidimplantaten betrug der Anteil des Barriereepithels an der Gesamthöhe des Weichgewebes 65 %, an Titanimplantaten betrug er 57 %⁴. Diese Daten waren jedoch ebenso wie in der vorliegenden Studie nicht signifikant. Ein langes Barriereepithel, das sich auf Kosten eines kürzeren Bindegewebsanteils bildet, geht mit einem krestalen periimplantären Knochenverlust einher, da keine ausreichende Versiegelung des Knochens gegenüber der Mundhöhle besteht¹⁴. Wie bereits an anderer Stelle veröffentlicht, ermittelten die Autoren bei nicht gedeckt einheilenden, unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten einen etwas stärkeren krestalen Knochenverlust⁷. Daher sollten unbeschichtete Zirkonoxidimplantate gedeckt einheilen.

Die Daten zu den verschiedenen Einheilungsformen sollten allerdings nur zurückhaltend bewertet werden, da 79 % der gedeckt einheilenden Implantate spontan durch die Kau-

belastung exponiert wurden, bevor die operative Freilegung erfolgen konnte. Das erste unbeschichtete Zirkonoxidimplantat war sechs Wochen nach der Insertion sichtbar. Die Implantate waren durchschnittlich nach sieben Wochen spontan freigelegt und nicht, wie geplant, operativ nach 12 Wochen. Zu diesem Zeitpunkt dürfte jedoch die Bildung des Barriereepithels und die Reifung des Bindegewebes abgeschlossen gewesen sein⁸. Dies sollte die getrennte Evaluation der Weichgewebsreaktion an nicht gedeckt und gedeckt einheilenden Implantaten rechtfertigen.

Das periimplantäre Mukosaprofil wurde anhand der Differenz zwischen der Weichgewebshöhe unmittelbar lateral am Implantat und in einer Entfernung von 0,5 mm ersatzweise als Fähigkeit zur Papillenbildung errechnet. Alle Implantate wiesen im Mittel positive Werte im Sinne eines um die Implantatschulter herum ansteigenden Mukosaprofils auf. Im Gegensatz zu den gedeckt einheilenden Implantaten förderten die nicht gedeckt einheilenden, unbeschichteten Zirkonoxidimplantate das Papillenwachstum, da das Mukosaprofil unmittelbar lateral des Implantats anstieg. Diese experimentellen Daten werden von klinischen Weichgewebsstudien über Zirkonoxidabutments bestätigt. In einer prospektiven, über vier Jahre verlaufenden Studie wiesen Gingivaindizes von 0,7 an Zirkonoxidabutments im Vergleich zu 0,9 an natürlichen Zähnen auf eine günstige Weichgewebsreaktion hin²². Auch in einer anderen Fallserie wurde die Papillenformung durch Zirkonoxid bei prothetischen Rekonstruktionen belegt²³.

Die nicht gedeckte Einheilung war mit Entzündungszeichen mit höheren Werten verbunden (Abb. 8). An gedeckt einheilenden, unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten fanden sich weniger Entzündungszeichen als an allen anderen Implantattypen (im

Vergleich zu gedeckt einheilenden Titanimplantaten, $P = 0,11$). Die nur geringe periimplantäre Entzündung bei unbeschichtetem Zirkonoxid könnte mit den antibakteriellen Eigenschaften des Materials zusammenhängen, die in vitro und in vivo nachgewiesen wurden^{11,24}.

Schlussfolgerung

In den Grenzen dieser Tierstudie konnte mit Zirkonoxidimplantaten ein ausreichendes Weichgewebsprofil hergestellt werden. Bei den unbeschichteten Zirkonoxidimplantaten war es dem von Titanimplantaten vergleichbar.

Danksagung und Interessenerklärung

Die Autoren danken Ute Zerfaß (Hartgewebspräparation) für ihren Beitrag zu dieser Studie. Diese Studie wurde mit finanzieller Unterstützung von Ziterion durchgeführt.

Literatur

1. d'Hoedt B, Lukas D, Schulte W. Das tübinger implantat als Sofort- und Spätimplantat, ein statistischer vergleich [in German]. Dtsch Zahnärztl Z 1986;41: 1068–1072.
2. Ozkurt Z, Kazazoglu E. Zirconia dental implants: A literature review. J Oral Implantol 2011;37:367–376.
3. Scarano A, Di Carlo F, Quaranta M, Piattelli A. Bone response to zirconia ceramic implants: An experimental study in rabbits. J Oral Implantol 2003;29:8–12.
4. Kohal RJ, Weng D, Bachle M, Strub JR. Loaded custom-made zirconia and titanium implants show similar osseointegration: An animal experiment. J Periodontol 2004;75:1262–1268.

5. Schultze-Mosgau S, Schliephake H, Radespiel-Troger M, Neukam FW. Osseointegration of endodontic endosseous cones: Zirconium oxide vs titanium. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:91–98.
6. 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–S20.
7. Koch FP, Weng D, Kramer 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;21:350–356.
8. Berglundh T, Abrahamsson I, Welander M, Lang NP, Lindhe J. Morphogenesis of the peri-implant mucosa: An experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:1–8.
9. Marchetti C, Farina A, Cornaglia AI. Microscopic, immunocytochemical, and ultrastructural properties of peri-implant mucosa in humans. *J Periodontol* 2002;73:555–563.
10. Ikeda H, Yamaza T, Yoshinari M, et al. Ultrastructural and immunoelectron microscopic studies of the peri-implant epithelium-implant (Ti-6Al-4V) interface of rat maxilla. *J Periodontol* 2000;71:961–973.
11. Rimondini L, Cerroni L, Carrassi A, Torricelli P. Bacterial colonization of zirconia ceramic surfaces: An in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:793–798.
12. Papaioannou W, Quirynen M, Van Steenberghe D. The influence of periodontitis on the subgingival flora around implants in partially edentulous patients. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:405–409.
13. Papaioannou W, van Steenberghe D, Cassiman JJ, Dierickx K, Quirynen M. Adhesion of porphyromonas gingivalis to cultured pocket epithelium: Mono- and multi-layered. *Clin Oral Investig* 2003;7:162–166.
14. Welander M, Abrahamsson I, Berglundh T. The mucosal barrier at implant abutments of different materials. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:635–641.
15. Kulkarni AG, Hee HT, Wong HK. Solis cage (PEEK) for anterior cervical fusion: Preliminary radiological results with emphasis on fusion and subsidence. *Spine J* 2007;7:205–209.
16. Senegas J. Mechanical supplementation by non-rigid fixation in degenerative intervertebral lumbar segments: The Wallis system. *Eur Spine J* 2002;11(suppl 2):S164–S169.
17. Heidenau F, Mittelmeier W, Detsch R, et al. A novel antibacterial titania coating: Metal ion toxicity and in vitro surface colonization. *J Mater Sci Mater Med* 2005;16:883–888.
18. Buser D, Weber HP, Donath K, Fiorellini JP, Paquette DW, Williams RC. Soft tissue reactions to non-submerged unloaded titanium implants in beagle dogs. *J Periodontol* 1992;63:225–235.
19. Abrahamsson I, Berglundh T, Glantz PO, Lindhe J. The mucosal attachment at different abutments. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 1998;25:721–727.
20. Abrahamsson I, Berglundh T, Wennstrom J, Lindhe J. The peri-implant hard and soft tissues at different implant systems. A comparative study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:212–219.
21. Abrahamsson I, Berglundh T, Moon IS, Lindhe J. Peri-implant tissues at submerged and non-submerged titanium implants. *J Clin Periodontol* 1999;26:600–607.
22. Glauser R, Sailer I, Wohlwend A, Studer S, Schibli M, Scharer P. Experimental zirconia abutments for implant-supported single-tooth restorations in esthetically demanding regions: 4-year results of a prospective clinical study. *Int J Prosthodont* 2004;17:285–290.
23. Kollar A, Huber S, Mericske E, Mericske-Stern R. Zirconia for teeth and implants: A case series. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008;28:479–487.
24. Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: An in vivo human study. *J Periodontol* 2004;75:292–296.