

Andreas Breitwieser,  
Anna Pavlicek, Florian Part,  
Marius Koppler, Mike Zäuner und  
Eva-Kathrin Ehmoser\*, André Gzásó

## Zusammenfassung

In der Zahnheilkunde zeigt sich in den letzten Jahren ein Trend zur Verwendung von metallfreien Zahnimplantaten. Implantate aus Titan, deren Einsatz als Zahnersatz jahrzehntlang als „Goldstandard“ galt, können mittlerweile durch biokompatible Implantate, bestehend aus Keramikmaterialien ergänzt oder sogar ersetzt werden. Neben dem ästhetischen Aspekt eines keramischen Zahnersatzes, zeigt sich auch eine bessere Gewebeverträglichkeit bei Patient:innen, die allergisch gegen einzelne Bestandteile der Titanimplantate reagieren oder Vorerkrankungen wie Diabetes haben. Keramische Zahnimplantate bestehen unter anderem aus Zirkoniumdioxid ( $ZrO_2$ ) mit hoher Beständigkeit und Lebensdauer. Diese zeigen auch verbesserte Einheilungschancen in den Knochen (Osseointegration). Insgesamt ergeben sich dadurch neue Chancen in der Zahnheilkunde. Keramik ist ein inertes (nicht reaktives) Material und wird in der Orthopädie, z. B. für Hüftimplantate bereits länger als biokompatibler Werkstoff verwendet. Allerdings könnten beim Setzen oder Tragen der Zahnimplantate entweder technische Nanomaterialien, die in den Keramikkompositen eingesetzt werden, freigesetzt werden, und/oder es kann nanoskaliger Abrieb in Form von „sekundären“ Nanopartikeln entstehen. Dieser Abrieb kann in weiterer Folge entweder verschluckt oder eingeatmet werden. Bei Zulassungsverfahren für innovative Kompositwerkstoffe ist es daher unerlässlich, mögliche Gesundheitsrisiken zu berücksichtigen und nanospezifische Toxizitätseffekte näher zu untersuchen. Bislang sind keine negativen Wechselwirkungen im menschlichen Körper bekannt, jedoch gibt es bisher kaum Langzeitstudien zu möglichen Risiken für Mensch und Umwelt.

Dieses Dossier erläutert die Materialeigenschaften von keramischen Zahnimplantaten im Vergleich zu herkömmlichen Implantaten aus Titan und bietet einen Überblick über mögliche Risiken und Chancen zur Verwendung dieses Werkstoffes in der Zahnimplantologie.

\* Korrespondenzautorin

# Zahnimplantate aus Keramik

## Aufbau, Eigenschaften und mögliche Risiken innovativer Materialien

### Einleitung

Der erste Beleg für die Verwendung eines Zahnimplantats kann der Kultur der Mayas zugeschrieben werden. Bei einem Unterkieferknochen wurden zugeschiffene Muschelstücke gefunden, die drei verlorene Zähne ersetzten. Untersuchungen des Knochenwachstums um diesen Zahnersatz bewiesen, dass diese zu Lebzeiten eingepflanzt wurden und somit als wirkliche Implantate zu sehen sind, da zuvor menschliche Zähne oder Zähne aus Elfenbein mittels Goldfäden an vorhandenen Zähne befestigt und somit nicht implantiert worden sind<sup>1</sup>. Die Ära moderner Implantologie begann jedoch erst in den 1940er Jahren mit Manlio Formigini, da die von ihm aus Edelstahl gefertigten spiralförmig aufgebauten Schrauben ein Knochenwachstum um das Metall ermöglichten<sup>2</sup>. In dieser Phase der wiederherstellenden Chirurgie wurden wichtige Erkenntnisse zur Knochenheilung gewonnen. Als weiterer Meilenstein kann die Entdeckung der Biokompatibilität von Titanoberflächen durch den schwedischen Wissenschaftler Brånemark 1967 gesehen werden. Die gezeigte biologische Verschmelzung von Fremdkörpern aus Titan mit Knochenmaterial (Osseointegration) ebnete den Weg für die moderne Zahnimplantologie<sup>3</sup>.

Obwohl auch eine Vielzahl anderer Materialien (Gold, Platin, Porzellan) getestet wurden, setzte sich daraufhin Reintitan als Implantatmaterial durch, da es eine hohe Biokompatibilität und hervorragende Stabilität sowie eine ähnliche Elastizität wie Knochen aufweist<sup>4</sup>.

Obwohl Titan als bioinertes Material beschrieben ist, können allergischen Reaktionen eintreten, die durch Zusätze oder Verunreinigungen im verwendeten Werkstoff oder durch die Bearbeitung der Titanimplantate, wobei wiederum Abrieb entstehen kann, verursacht werden. So kann zum Beispiel eine weitere Veränderung der Titanimplantatoberfläche durch Oxidation erzielt werden und die dadurch entstandene rauere Oberfläche einerseits die Osseointegration begünstigen, was andererseits aber zum einem Partikelabrieb und in weiterer Folge zu allergischen Reaktionen führen kann. Durch angelagerte bakterielle Biofilme

wurden auch Entzündungen des Zahnfleisches um das Implantat in der Literatur beschrieben. Um die Biokompatibilität zu erhöhen und die Einheilungsrate zu verbessern, werden daher immer wieder Verbesserungen der Titanoberfläche oder die Verwendung anderer Materialien angestrebt<sup>5,6</sup>.

In den letzten Jahren stieg der Wunsch nach mehr Ästhetik und schnelleren Behandlungsergebnissen in der Zahnheilkunde, da Materialien wie Gold oder Titan die Zähne und ihre Umgebung oft „dunkler“ wirken lassen. Bei Titanimplantaten kann die dunkle Farbe durch das Zahnfleischgewebe durchscheinen, was vor allem bei Zähnen im Frontkieferbereich unerwünscht ist. Die manchmal gegebene Unverträglichkeit (0,6 % weisen eine Titanallergie auf) steigerte das Interesse an Keramik als metallfreien, alternativen Werkstoff zusätzlich<sup>7</sup>. Die Zahl der eingesetzten Keramikimplantate nimmt seit der Markteinführung in den 1970er Jahre stetig zu und erreicht heute einen geschätzten Marktanteil von 3-5 %. Die erste Generation von Keramikimplantaten bestand aus Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ) und zeigte eine gute Einheilung in den Knochen (Osseointegration). Weitere positive Eigenschaften waren die weiße Färbung, die gute Bioverträglichkeit und die geringe Affinität gegenüber bakteriellen Biofilmen. Wegen der im Vergleich zu Titan schlechteren mechanischen Eigenschaften wurden diese Implantate jedoch in den frühen 1990iger Jahren wieder vom Markt genommen. Als Verbesserung wurden folglich wesentlich stabilere bzw. härtere Zirkoniumdioxid Keramiken eingesetzt. Da in Toxizitätsstudien auch keine mutagenen und karzinogenen Effekte festgestellt wurden, erwiesen sich diese Keramikimplantate als vielversprechende Alternative zu den gängigen Titanimplantaten, vor allem bei bekannten Prädispositionen wie Allergien.

## Eigenschaften und Verträglichkeit aktuell eingesetzter keramischer Zahnimplantate

### Materialeigenschaften

Glaskeramiken (Cerium verstärktes Bioglas) und insbesondere aluminiumverstärkte Glaskeramiken zeigen sehr gute physikalische und mechanische Eigenschaften, da sie eine geringe Wärmeübertragung und hohe Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Momentan sind tetragonale Zirkonimpolykristalle, welche zusätzlich mit Yttriumoxid ( $Y_2O_3$ ) stabilisiert werden, das meistverwendete Keramikmaterial. Diese Implantate weisen eine sehr hohe Festigkeit und Belastbarkeit auf und sind daher sehr bruchsicher. Die hohe Biegefestigkeit kann durch Verwendung eines Zusatzstoffes z. B. Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ) verbessert bzw. modifiziert werden<sup>8</sup>.

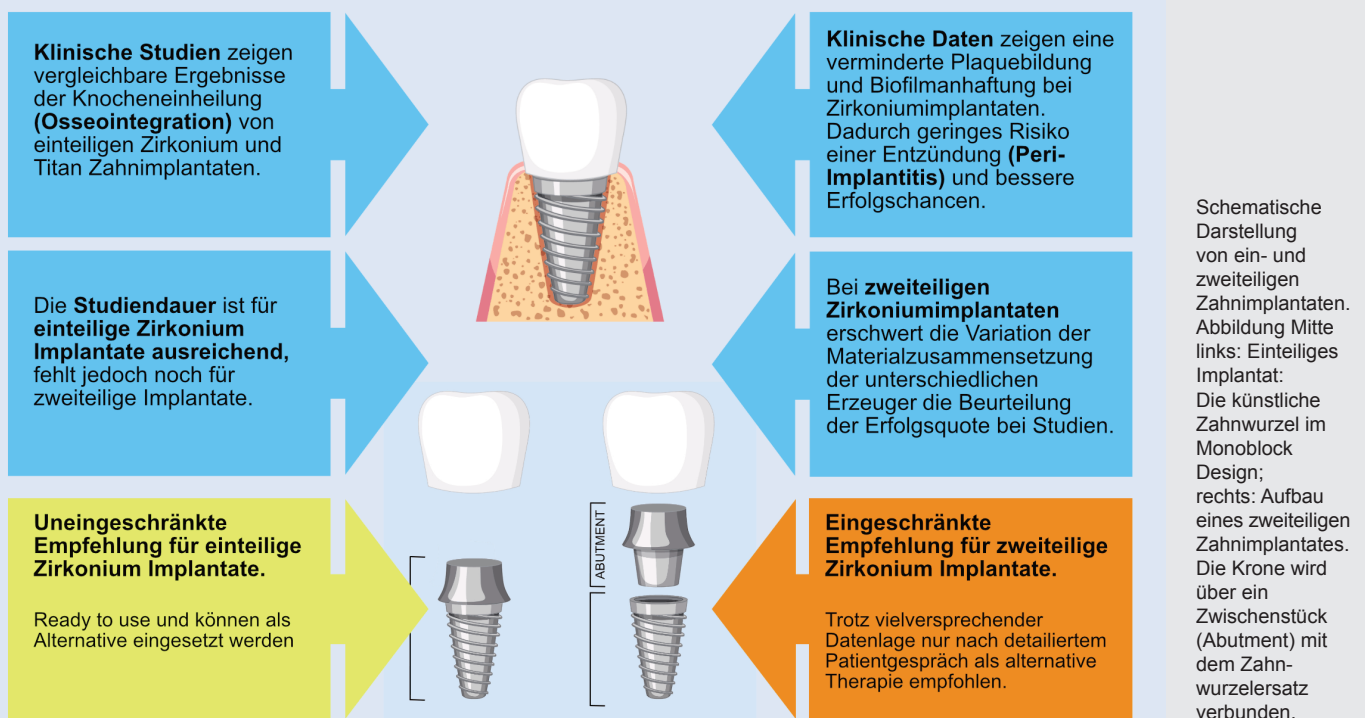
### Osseointegration

Die sogenannte Osseointegration beschreibt die feste Integration des Zahnersatzes in den Kieferknochen und ist ein Ergebnis des Selbstheilungsprozesses des Knochens. Durch knochenbildende Zellen (Osteoblasten) wird eine feste Verbindung des Kieferknochens mit der Implantatoberfläche eingegangen. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Osseointegration sind passgenaue Implantate aus hochwertigem Material mit osteoblastenfreundlicher Oberfläche, eine sterile und temperaturneutrale Bohrung in den Knochen, eine ausreichende Primärstabilität und Ruhigstellung des Implantates. Eine ausreichende Blutzirkulation in Abwesenheit von Infektionen ist ebenso erforderlich. Sind diese Parameter gegeben, kann eine unbelastete Einheilphase nach 3-6 Monaten erreicht werden. Die Osseointegration ist hiermit der entscheidende Faktor für die Einheilung und damit für die erfolgreiche und langfristige Implantatversorgung.

### Entzündungen

Im Zahnfleisch und im Zahnbett kann es rund um das Implantat zu Infektionen (Periimplantitis) kommen, die durch Bakterienbeläge hervorgerufen werden. Dieses Problem entsteht unter anderem durch eine schlechte Mundhygiene. Im fortgeschrittenen Stadium dieser Entzündung kann es zu Abbau der Knochenmasse und des Zahnfleischgewebes kommen. In Folge kann es zu einer Lockerung und Verlust des Implantates kommen. Von der Anhaftung eines bakteriellen Biofilms scheinen Keramikimplantate weniger betroffen zu sein, während Entzündungen bei Titanimplantaten öfter beschrieben werden<sup>7</sup>. Zhou et al.<sup>9</sup> beschreiben weiters eine langsame Abgabe von Titanium Partikeln vom Implantat in das umliegende Gewebe/in den Knochen, was zu einer erhöhten lokalen Titanium Konzentration oder mittels Transport über die Blutbahn sogar zur Anreicherung in entfernte Gewebe führen kann. Dies, in Kombination mit der Hypoallergenität des keramischen Werkstoffes, spricht für eine bessere Bioverträglichkeit des keramischen Zahnersatzes.

## RICHTLINIEN DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR IMPLANTOLOGIE



**Abbildung 1:** Zusammenfassende Empfehlungen der deutschen Gesellschaft für Implantologie betreffend ein- und zweiteilige Keramikzahnimplantate (modifiziert nach<sup>12</sup>).

## Aufbau der Keramikimplantate

Zu Beginn wurden einteilige keramische Zahnimplantate hergestellt und eingesetzt (sogenanntes Monoblock Design). Diese einteiligen Implantate bestehen aus einem in den Kiefer eingesetzten Bereich, nämlich einer Art künstlichen Zahnwurzel, und einem Abschnitt, auf dem eine prothetische Versorgung wie beispielsweise eine Krone befestigt wird. Bei einteiligen Keramikimplantaten können Störungen während der Einheilungsphase (bei Implantaten, die durch die Schleimhaut – transgingival, bzw. durch das Zahnfleisch ragen) auftreten, die sich wiederum nachteilig auf die Osseointegration auswirken und somit den Heilungsprozess hinauszögern können<sup>10</sup>. In den letzten Jahren besteht jedoch ein Trend zur Verwendung von zweiteiligen keramischen Zahnimplantaten (Hybridkonzept). Hier sind das Implantat und der Zahnersatz über das sogenannte Abutment, einem flexibel einschraubbaren, durch das Zahnfleisch ragenden Teil, verbunden. Das Abutment dient als Aufbau- und Befestigungselement und sorgt als Stützpfeiler für die Stabilität des Zahnersatzes<sup>11</sup>. Je nach Anwendung und Anforderungsprofil wird neben der Zahnkrone auch ein Abutment aus Keramik im Dentallabor den individuellen Bedürfnissen der Patient:innen in hoher Genauigkeit angepasst. Dies erlaubt ein besseres Ergebnis, das gerade in den ästhetisch wichtigen Zonen von Vorteil ist. Als Nachteil zweiteiliger Implantate kann die Notwendigkeit einer zweiten Operation gesehen werden. Weitere mögliche unerwünschte Folgen einer zweiteiligen Implantatversorgung sind auch (1) ein mögliches Auftreten einer bakteriellen Besiedlung zwischen Implantat und dem Abutment, (2) der Bruch oder eine Lösung der Abutmentverschraubung und (3) der höhere Materialaufwand und die damit entstehenden höheren Kosten beschrieben worden.

Obwohl es schon zahlreiche Fallstudien über einen längeren Beobachtungszeitraum für einteilige keramische Zahnimplantate mit vergleichbaren Ergebnissen zu Titanimplantaten gibt, fehlen noch Daten für die zweiteilige Implantatversorgung, sodass die Deutsche Gesellschaft für Implantologie (DGI) momentan nur für einteilige Keramikimplantate eine Empfehlung ausspricht<sup>12</sup>.

## Klinische Studien

Viele Studien der letzten Jahre zeigten Erfolgsraten von Zirkoniumdioxidimplantaten der neuen Generation, die vergleichbar mit jenen der standardmäßig eingesetzten Titanimplantaten sind<sup>13</sup>. Es wird aber immer noch auf fehlende Langzeitstudien hingewiesen, um mögliche Langzeitfolgen ausschließen zu können. Obwohl Vorteile in der Osseointegration und Weichgewebeakzeptanz von einteiligen keramischen Zahnimplantaten verglichen mit Titanimplantaten beschrieben

werden<sup>7</sup>, gibt es auch kritische Stimmen, die trotz der erkannten Vorteile immer noch die Verwendung von Titan, vor allem in den USA, als erste Wahl sehen<sup>14</sup>. Gründe dafür sind die guten Erfahrungen mit Titanimplantaten, die bereits seit Jahrzehnten bestehen. Neben den fehlenden Langzeitstudien sind keramische Implantate kostspieliger und es fehlt am Training bei der Implantation und Versorgung des neuartigen Materials.

Während die kürzlich veröffentlichten Langzeitstudien von einteiligen keramischen Zahnimplantaten immer mehr diese Gegenargumente entkräften können, müssen diese für die neu am Markt befindlichen zweiteiligen Keramikimplantate erst erbracht werden. Klinische Kurzzeitstudien zeigen aktuell keinen Unterschied zwischen den beiden keramischen Implantatdesigns. Beide Strategien führen zu guten Resultaten<sup>11</sup>. Der gute Kontakt zwischen Knochen und Implantat sowie die nötige Drehkraft, um ein Implantat wieder zu entfernen, sind zusätzliche Schlüsselparameter um die Anwendbarkeit neuartiger Implantatmaterialien zu bewerten. Hier zeigte sich in Tierversuchen kein signifikanter Unterschied zwischen Keramik- und Titanimplantaten<sup>13</sup>.

Die Deutsche Gesellschaft für Implantologie (DGI) sieht einteilige Keramikimplantate mittlerweile als gleichwertige Alternative zu Titanimplantaten und bewertet die ständige Verbesserung der Materialien bei zweiteiligen Implantaten als positiv. Allerdings fehlen noch Langzeitstudien für zweiteilige keramische Implantate, da diese Materialien ständig weiterentwickelt und laufend verbessert werden. Deshalb wird die Verwendung keramischer Alternativen erst nach einem ausführlichen Patientengespräch angesprochen, wo zunächst alle Vor- und Nachteile erklärt und abgewogen werden sollen<sup>12</sup>.

## Mögliche Risiken des Materialabriebes

Tierversuchsstudien zeigen, dass es bei Titanimplantaten zu einem Abrieb im mikro- und nanopartikulären Bereich kommt, welcher zu Entzündungsprozessen und vermindertem Einheilungserfolg führen kann<sup>9</sup>. Ein partikulärer Abrieb ist auch bei keramischen Materialien möglich und wurde bei Kausimulationsstudien beschrieben. Es fehlen aber noch nähere Untersuchungen, um die abgeriebene Menge abschätzen und die freigesetzten Partikel charakterisieren und evaluieren zu können. Für eine Risikobewertung von innovativen Kompositmaterialien ist es nötig, Freisetzungsmechanismen (Bohren, Schleifen, Zähneknirschen etc.) und mögliche toxische Effekte der abgeriebenen Partikel zu untersuchen. Weiters wäre es wichtig, solche Studien der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

## Fazit

Der Zahnersatz aus Titan hat sich zwar als „Goldstandard“ in der dentalen Implantologie durchgesetzt, da auf jahrzehntelange Erfahrungen, die lange Funktionstauglichkeit und Verträglichkeit zurückgegriffen werden kann. Jedoch wurden auch immer wieder Allergien und Entzündungen, die einen Dauerreiz auf das Immunsystem ausüben, in der Literatur beschrieben. Auch das Durchschimmern des gräulichen, dunklen Implantatmaterials durch das Zahnfleischgewebe, gerade in ästhetischen wichtigen Zahnbereichen, wurde negativ bewertet und der Ruf nach verträglichen Implantaten aus innovativen Keramiken wurde lauter. Durch stetige Weiterentwicklung von Keramikimplantaten rückten Implantate auf Basis von Zirkondioxid ins Interesse. Die Materialeigenschaften von Keramiken wie die Bruchfestigkeit gleichen mittlerweile denen von Titan. Sowohl in der Belastbarkeit, Stabilität und Biegefestigkeit kann kein Unterschied zu Titanimplantaten beobachtet werden. Keramikimplantate zeigen eine gute Osseointegration sowie eine geringere Anhaftung von Bakterienfilmen, was wiederum zu einer verminderten Entzündungshäufigkeit und Plaquebildung führt. Bis dato konnten keine negativen Auswirkungen von Keramikimplantaten beobachtet werden – wie beispielsweise Entzündungen, die durch unbeabsichtigten Abrieb oder durch die Stofffreisetzung aus den Kompositmaterialien ausgelöst werden können; die gute biologische Integration bewirkt sogar eine bessere Durchblutung des Zahnfleischgewebes. Eines der wichtigsten Argumente für einen keramischen Zahnersatz bleibt jedoch die reinweiße Farbe der künstlichen Zahnwurzel, sodass sogar bei einem Zurückgehen des Zahnfleisches das Implantat nicht von einem natürlichen Zahn zu unterscheiden ist. Während einteilige Implantate aus Zirkondioxidkeramiken mittlerweile als gleichwertiger Werkstoff anerkannt sind und als Alternative zu Titan gelten, fehlen Studien über zweiteilige Keramikimplantate für die Bewertung des Langzeiterfolgs. Da diese reversibel verschraubbaren Implantatsysteme den prothetischen Anwendungsbebereich wesentlich erweitern, kann dessen empfohlener Einsatz nur mehr als eine Frage der Zeit gesehen werden.

## Anmerkungen und Literaturhinweise

- <sup>1</sup> Abraham, C. M. A brief historical perspective on dental implants, their surface coatings and treatments. *Open Dent J* **8**, 50-55, doi:10.2174/1874210601408010050 (2014).
- <sup>2</sup> Linkow, L. I. & Dorfman, J. D. Implantology in dentistry. A brief historical perspective. *N Y State Dent J* **57**, 31-35 (1991).
- <sup>3</sup> Branemark, P. I. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent* **50**, 399-410, doi:10.1016/s0022-3913(83)80101-2 (1983).
- <sup>4</sup> Saini, M., Singh, Y., Arora, P., Arora, V. & Jain, K. Implant biomaterials: A comprehensive review. *World J Clin Cases* **3**, 52-57, doi:10.12998/wjcc.v3.i1.52 (2015).
- <sup>5</sup> Silva, R. C. S. *et al.* Titanium Dental Implants: An Overview of Applied Nanobiotechnology to Improve Biocompatibility and Prevent Infections. *Materials (Basel)* **15**, doi:10.3390/ma15093150 (2022).
- <sup>6</sup> Muller-Heupt, L. K. *et al.* The German S3 guideline on titanium hypersensitivity in implant dentistry: consensus statements and recommendations. *Int J Implant Dent* **8**, 51, doi:10.1186/s40729-022-00451-1 (2022).
- <sup>7</sup> Cionca, N., Hashim, D. & Mombelli, A. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? *Periodontol 2000* **73**, 241-258, doi:10.1111/prd.12180 (2017).
- <sup>8</sup> Pereira, R. M. *et al.* An engineering perspective of ceramics applied in dental reconstructions. *J Appl Oral Sci* **31**, e20220421, doi:10.1590/1678-7757-2022-0421 (2023).
- <sup>9</sup> Zhou, Z. *et al.* The unfavorable role of titanium particles released from dental implants. *Nanotheranostics* **5**, 321-332, doi:10.7150/ntno.56401 (2021).
- <sup>10</sup> Mellinghoff, J., Cacaci, C., Detsch, F. Einteilige Keramikimplantate. Eine Longitudinalstudie über zwei Jahre Beobachtungsdauer. *Implantologie* **23**, 89-100 (2014).
- <sup>11</sup> Bollen, C., Joergens, M. 1-piece and 2-piece ceramic dental implants. *EDI Journal* **3**, 50-54 (2023).
- <sup>12</sup> Thiem, D. G. E. *et al.* German S3 guideline on the use of dental ceramic implants. *Int J Implant Dent* **8**, 43, doi:10.1186/s40729-022-00445-z (2022).
- <sup>13</sup> Hashim, D., Cionca, N., Courvoisier, D. S. & Mombelli, A. A systematic review of the clinical survival of zirconia implants. *Clin Oral Investig* **20**, 1403-1417, doi:10.1007/s00784-016-1853-9 (2016).
- <sup>14</sup> Prakash, M., Audi, K. & Vaderhobli, R. M. Long-Term Success of All-Ceramic Dental Implants Compared with Titanium Implants. *J Long Term Eff Med Implants* **31**, 73-89, doi:10.1615/JLongTermEffMedImplants.2021037400 (2021).

### IMPRESSUM

**Medieninhaber:** Österreichische Akademie der Wissenschaften; Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 31/2018); Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

**Herausgeber:** Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA); Bäckerstraße 13, A-1010 Wien; [www.oeaw.ac.at/ita](http://www.oeaw.ac.at/ita)

**Erscheinungsweise:** Die NanoTrust-Dossiers erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung sowie seiner Kooperationspartner:innen im Rahmen des Projekts NanoTrust. Die Berichte werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oeaw“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: [epub.oeaw.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/](http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/)

NanoTrust-Dossier Nr. 063, Juni 2024:  
[epub.oeaw.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier063.pdf](http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier063.pdf)

ISSN: 1998-7293

Dieses Dossier steht unter der Creative Commons  
(Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 2.0 Österreich)  
Lizenz: [creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de)