

WERKSTOFFKOMPATIBILITÄT

Hauptkriterium für Dentalimplantate ist die mechanische Belastbarkeit

Oberflächen- und Strukturkompatibilität sind zwei Hauptanforderungen an Dentalimplantate. Beides lässt sich jedoch nicht ohne Kompromisse erreichen. Grund dafür ist die hohe mechanische Wechselbelastung der Implantate. Die Kerbwirkung einer rauen Implantatoberfläche, die aufgrund der Verankerung im Knochengewebe notwendig ist, senkt die Ermüdungsfestigkeit. Wichtig ist daher eine frühzeitige Ermittlung der Belastbarkeit des Implantatwerkstoffs.

RAIMUND JAEGER



Implantate spielen in der Medizin eine unverändert wichtige Rolle. Sie kommen beispielsweise zum Einsatz, wenn ein natürliches Gewebe seine Funktion durch eine Erkrankung, durch Verschleiß oder nach Schädigung durch einen Unfall nicht mehr erfüllen kann. In der Orthopädie sind Hüftendoprothesen, Implantate für Kniegelenke oder Knochenplatten zur Stabilisierung von Knochenbrüchen fest etabliert. Aber auch in der Zahnmedizin haben Implantate in den letzten Jahrzehnten eine weite Verbreitung gefunden: Nach dem Verlust eines Zahnes hat der Patient neben der Überbrückung der Zahnücke durch eine Brücke die Möglichkeit, den fehlenden Zahn durch ein Dentalimplantat zu ersetzen.

Eigen- oder Lohnfertigung von Implantatsystemen

Die wachsende Akzeptanz von Dentalimplantaten spiegelt sich in der wirtschaftlichen Entwicklung der Branche wider: Hersteller von Dentalimplantaten verzeichneten in den

Dr. Raimund Jaeger ist Leiter des Bereichs Biomedizinische Materialien und Implantate am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) in 79108 Freiburg, Tel. (07 61) 51 42-2 84, Fax (07 61) 51 42-1 10, raimund.jaeger@iw.fraunhofer.de

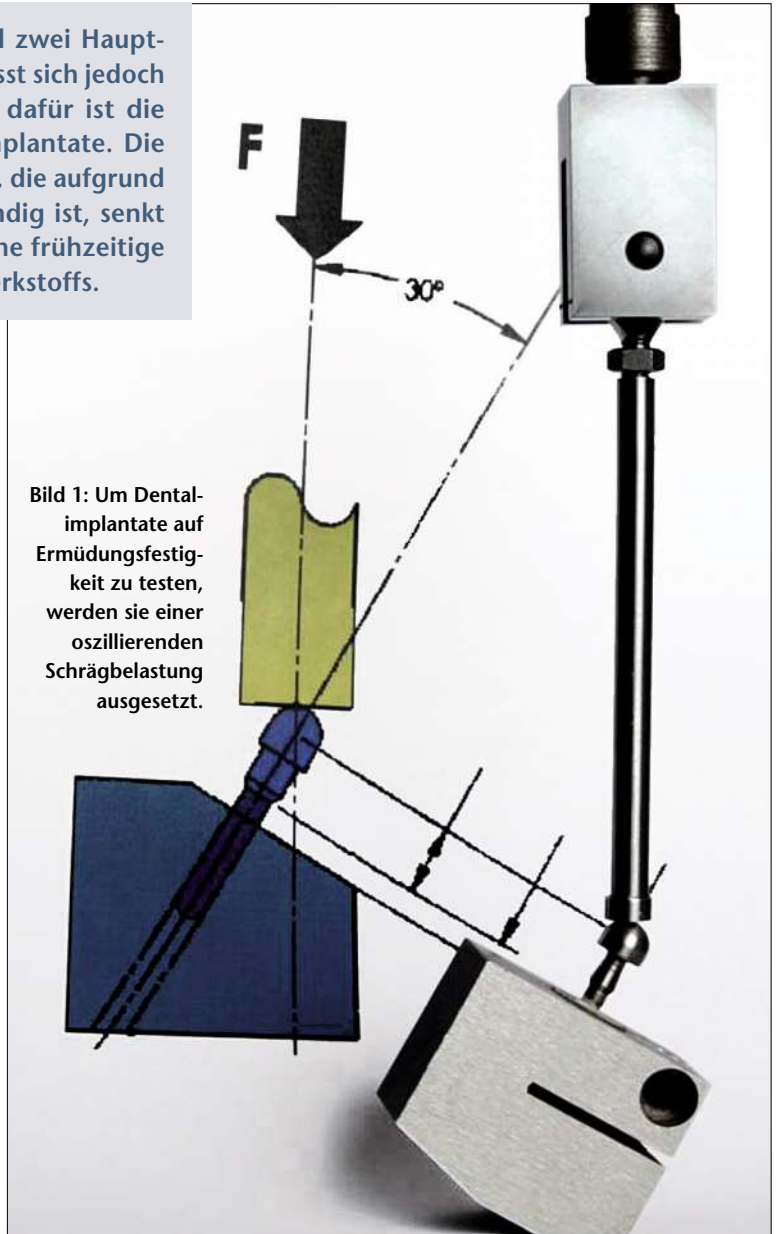


Bild 1: Um Dentalimplantate auf Ermüdungsfestigkeit zu testen, werden sie einer oszillierenden Schrägbelastung ausgesetzt.

letzten Jahren Zuwachsraten von 15 bis 20% [1]. Implantologisch tätige Zahnärzte können aus etwa 80 verschiedenen Implantatsystemen auswählen. Inzwischen werden Implantate von einer Vielzahl an Anbietern auf den Markt gebracht. Ein Teil der Anbieter fertigt die Implantatsysteme selbst, andere lassen die Implantatsysteme im Unterauftrag fertigen.

Bei der Versorgung mit einem Dentalimplantat wird dem Patienten ein komplexes Gebilde in den Kiefer eingesetzt: Die Zahnwurzel wird durch ein schraubenförmiges Implantat ersetzt, das im Kieferknochen einheilen muss. Nach der Einheilphase wird auf das Implantat in der Regel ein Aufbau – „Pfosten“ oder „Abutment“ – aufgeschraubt, auf

dem die Krone befestigt wird, die die sichtbare Zahnücke letztendlich schließt. Die sichere Auslegung und Fertigung der zum Teil filigranen Einzelteile einer Implantatversorgung aus biokompatiblen Werkstoffen stellt hohe Anforderungen an die Hersteller von Dentalimplantaten.

Die Oberflächen- und Strukturkompatibilität sind zwei wesentliche Anforderungen an Dentalimplantate. Oberflächenkompatibilität bedeutet, dass die Implantatoberfläche so gestaltet ist, dass die mit dem Empfängergewebe klinisch gewünschte Wechselwirkung erreicht wird. Der Implantatwerkstoff muss verträglich – biokompatibel – sein, so dass beispielsweise keine entzündlichen Reaktionen auftreten. Weiterhin ist es erforderlich, über die Implantatoberfläche mittelfristig für eine gute Verankerung des Implantats im umliegenden Knochengewebe zu sorgen: Das Implantat muss eine zuverlässige „Osseointegration“ erreichen. Dies wird durch eine Aufrauung des Teils der Implantatoberfläche erreicht, der im direkten Kontakt mit dem Knochengewebe steht. Das Aufrauen erfolgt beispielsweise durch Sandstrahlen oder Ätzen.

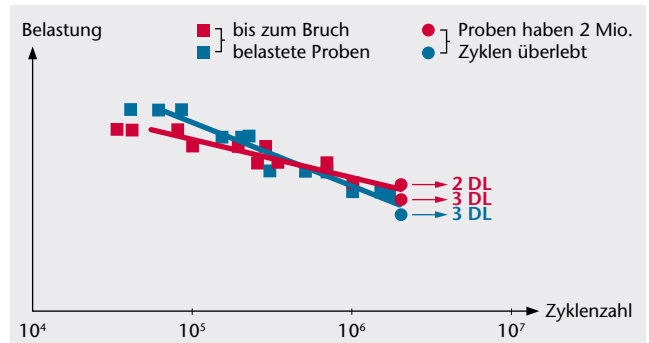
Extreme Wechselbelastung als Herausforderung

Die Strukturkompatibilität beschreibt die Anforderungen an das Implantat, die sich aus dem funktionalen langfristigen Ersatz des entfernten Zahnes ergeben. Das heißt: Ein Dentalimplantat muss einen Zahn zuverlässig ersetzen können. Die Kaubelastung stellt hohe Anforderungen an die mechanische Zuverlässigkeit von Dentalimplantaten. Sie müssen sowohl einmalige Spitzenbelastungen unbeschadet überstehen können, zum Beispiel dann, wenn der Patient aus Versehen auf einen Kirschkern beißt, als auch Millionen von Belastungszyklen auf niedrigerem Niveau standhalten. Millionenfache, niedrige zyklische Belastungen treten während der Lebensdauer des Implantats beim Kauen auf.

Insbesondere die ständige Wechselbelastung stellt eine Herausforderung an eine zuverlässige Konstruktion der graziilen Implantate dar. Grund dafür sind gegensätzliche Anforderungen: die der Oberflächenkompatibilität und der Strukturkompatibilität. Eine raue Oberfläche fördert zwar die Stabilität der Verbindung zum Kieferknochen, jedoch senkt die Kerbwirkung an einer aufgerauten Oberfläche die Ermüdungsfestigkeit des Dentalimplantats. Die „Kunst“ bei der Fertigung eines zuverlässigen Dentalimplantats liegt somit unter anderem im Finden eines idealen Kompromisses aus einer guten Osseointegration des Implantats und einer hohen Ermüdungsfestigkeit.

Weil die Auswahl geeigneter biokompatibler Werkstoffe beschränkt und die Zulassung eines neuen, ermüdungsfesteren Werkstoffes aus regulatorischen Gründen zeit- und kostenintensiv ist, sind zwei Qualitätskriterien unabdingbar: eine ermüdungsfeste Auslegung des Implantats und eine sorgfältige Fertigung, die das Einbringen von zusätzlichen Schwachstellen in das Implantat vermeidet. Beispielsweise sollten scharfe Querschnittsübergänge im Design des Implantats vermieden werden, weil diese eine zusätzliche Kerbwirkung entfalten und Stellen eines potenziellen Rissursprungs sind.

Die überwiegende Anzahl der Dentalimplantate wird aus Reintitan oder Titanlegierungen gefertigt. Beide zeichnen sich durch eine hohe biologische Verträglichkeit aus und sind seit Jahren etabliert. Keramiken – in der Regel Zirkoniumdioxid –



Bilder: Fraunhofer IWM

Bild 2: Wöhlerdiagramm der Ermüdungsprüfung zweier Dentalimplantate. Das rot dargestellte Probenkollektiv erreicht bei 2 Mio. Zyklen die geforderte Anzahl von drei Durchläufern (DL) auf einem höheren Niveau als das blaue. Das blaue Kollektiv zeigt eine stärkere Abhängigkeit der Lebensdauer von der Belastungshöhe.

kommen bisher seltener zum Einsatz. Allerdings ist der Markt derzeit im Fluss, weil Zirkoniumdioxid neben der ästhetisch positiven Wirkung auch dem Wunsch mancher Patienten nach einer „metallfreien Versorgung“ nachkommt.

Während der Entwicklung eines Implantats ist es für Implantathersteller und Anwender wichtig, die Belastbarkeit, für die das Implantat aus mechanischer Sicht geeignet ist, so gut wie möglich zu bestimmen und daraus den zulässigen Anwendungsbereich für das betreffende Implantat (Indikation) festzulegen. Dazu werden die Implantate inklusive Aufbau gemäß der Norm DIN EN ISO 14801 einer oszillierenden Schrägbelastung ausgesetzt (Bild 1), wie sie auch in vivo auftreten kann. Durch die gezielte Belastung auf unterschiedlichen Beanspruchungsniveaus bis in Regionen, die mit Sicherheit zum Versagen führen, lässt sich eine Wöhlerkurve aufnehmen, auf deren Basis eine Prognose für die Lebensdauer oder eine Abschätzung von Sicherheitsreserven möglich ist (Bild 2).

Schadensanalyse liefert Optimierungshinweise

Der Leistungsbereich „Biomedizinische Materialien und Implantate“ des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik (IWM) in Freiburg beschäftigt sich mit der Zuverlässigkeit und dem Einsatzverhalten von biomedizinischen Werkstoffen und Implantaten. Zur Bewertung von Implantaten, chirurgischen Instrumenten und Werkstoffen werden geeignete Experimente und Simulationstechniken entwickelt. Im Bereich von Ermüdungsprüfungen – beispielsweise an Dentalimplantaten nach DIN EN ISO 14801 – haben die Mitarbeiter des Leistungsbereichs langjährige Erfahrung.

Im Fall einer aufgetretenen Implantatfraktur lassen sich anhand einer Schadensanalyse nachträglich die Faktoren bestimmen, die zum Versagen des Implantats beigetragen haben. So kann die Analyse der Bruchfläche und der Oberfläche des Implantats mit dem Rasterelektronenmikroskop Aufschluss über Schadenshergang und -ursache geben. Sie liefert dem Hersteller oft wertvolle Hinweise zur Optimierung des Implantats. **MM**

Schrifttum

[1] Zysset, A.-C.: Dentalimplantate aus Sicht der Börse. Schweizer Monats-schreiben für Zahnmedizin Vol. 118 2/2008, S. 153.