

# Die Anwendung von Titan für implantatgetragene Suprastrukturen

## Teil 1: Allgemeine Aspekte

*Dr. Jürgen Lindigkeit*

### 1. Einleitung

Titan ist ein noch relativ junger Werkstoff, der erst seit etwa 50 Jahren kommerzielle Anwendung findet. Heute ist Titan ein Werkstoff, der wegen hoher Festigkeit, geringem Gewicht und hoher Korrosionsbeständigkeit große Bedeutung als ideales Material nicht nur für technische Anwendungen, sondern auch für die Medizin erlangt hat. In der Medizin wird Titan wegen seiner exzellenten Biokompatibilität geschätzt. Titan wird in steigendem Maße in der Chirurgie, vor allem in der Knochenchirurgie eingesetzt. Seit geraumer Zeit werden künstliche Hüft- und Kniegelenke aus Titan erfolgreich implantiert.

Unter Berücksichtigung der Gründe für den medizinischen Einsatz von Titan stellt sich auch für den Zahnarzt die Frage, was für eine Verwendung dieses Werkstoffes für die Herstellung implantatgetragener Suprastrukturen spricht. Vor allem zwei Aspekte, die im Folgenden genauer diskutiert werden, müssen hier betrachtet werden: erstens die Biokompatibilität und zweitens die Biofunktionalität.

### 2. Biokompatibilität

Biokompatibilität kann definiert werden als Sicherheit ein Materials in einem biologischen Milieu. Im Sinne von Paracelsus, einem der Urväter der modernen Medizin, verlangt schon das BGA als Vorgängerbehörde zum heutigen BfArM (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte), dass so wenig wie möglich unterschiedliche Legierungen im Munde eines Patienten verwendet werden sollten. Ebenso muss die Konzentration der freigesetzten Ionen aus toxikologischer Sicht vernachlässigbar sein. (1).

Aus praktischer Sicht werden also Materialien gefordert, die eine weite Spanne von Anwendungen abdecken, hoch korrosionfest sind und keine toxischen Elemente freisetzen. Titan ist in diesem Zusammenhang als idealer Werkstoff zu betrachten.

Betrachtet man die chemische Zusammensetzung von reinem Titan, so fällt auf, dass dieses nicht 100 % rein ist, sondern "nur" einen Reinheitsgrad von etwa 99,5 % hat (Abb. 1). Es ist jedoch hier anzumerken, dass keines der Spurenelemente, wie Eisen, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, die im Titan enthalten sind, in irgendeiner Weise als toxisch bekannt sind. Der zulässige Gehalt an Eisen und Sauerstoff hängt vom Grad des Titans ab und steigt von Grad 1 nach Grad 4 an. Daher sollte Titan Grad 1, das die höchste Reinheit besitzt, für medizinische und zahnmedizinische Anwendungen bevorzugt werden.

Im Rahmen von elektrochemischen Experimenten in künstlichem Speichel können die Durchbruchpotentiale dentaler metallischer Materialien ermittelt werden. Messungen der Stromdichte gegen elektrische Spannung zeigen, dass das Durchbruchpotential von Titans deutlich höher liegt als das aller Dentallegierungen, gleichgültig ob sie edelmetallfrei oder edelmetallhaltig sind. Es besteht eine Korrelation zwischen der Korrosionsbeständigkeit und der Biokompatibilität von Metallen und Legierungen. Allerdings beeinflusst nicht nur das Korrosionsverhalten eines Metalles die Biokompatibilität, sondern auch sein toxisches Potential. Reines Kupfer oder Nickel sind für ihre geringe Korrosionsfestigkeit und Toxizität und damit auch für ihre geringe Biokompatibilität bekannt. Titan andererseits, das als hoch biokompatibel klassifiziert wird, zeigt eine vitale Wechselwirkung mit der biologischen Umgebung ohne irgendwelche toxische Effekte.

Durch sogenannte Implantationstests können Informationen über das biologische Verhalten eines Werkstoffes erlangt werden. Untersuchungen über das Ausmaß der Bindegewebsbildung bringen Erkenntnisse über die Toxizität des Werkstoffes.

Ergebnisse intramuskulärer Implantationstests zeigen, dass nahezu keine Reaktion des Gewebes auf Titan erfolgt. Signifikant stärkere Reaktionen wurden bei anderen Dentallegierungen gefunden. Eine Berylliumhaltige Nickellegierung zeigte die stärksten Reaktionen (Abb. 2) (2).

Ähnliche Ergebnisse erbrachten subkutane Implantationstests. Auch hier zeigt Titan die geringste Bindegewebsbildung und beweist damit eine exzellente Bioverträglichkeit.

### **3. Biofunktionalität**

Die Eignung eines Werkstoffes für die dentale Anwendung hängt nicht nur von seiner Biokompatibilität sondern auch von seiner Biofunktionalität ab. Unter Biofunktionalität soll die Fähigkeit eines Werkstoffes verstanden werden, dem Verwendungszweck im biologischen Milieu gerecht zu werden. Natürlich ist die Eignung als implantatgetragene Suprastruktur in der Mundhöhle im hier behandelten Rahmen von größtem Interesse.

Die mechanischen Eigenschaften von gegossenem Titan gewährleisten ausreichende Festigkeit, um den physiologischen Kräften in der Mundhöhle zu widerstehen (Abb. 3). Folgt man der standardisierten Klassifikation von Dentalmaterialien für festsitzende Restaurationen, so ist Titan ein Klasse 4-Material. Klasse 4 bedeutet, dass das Material für Anwendungen geeignet ist, die sehr hohen Belastungen widerstehen müssen, wie beispielsweise verblendete Einzelkronen, weitspannige Brücken oder Brücken mit geringen Querschnitten, Stege, Attachments oder implantatgetragene Suprastrukturen.

Neben der hohen Festigkeit hat Titan eine Reihe anderer Eigenschaften, die es besonders interessant für die Anwendung in der Zahnmedizin macht.

Eine dieser Eigenschaften ist seine geringe Dichte, die Restauration extrem leicht macht. Mit einer Dichte von  $4.5 \text{ g/cm}^3$  ist Titan das Metall, das den Übergangspunkt zwischen Leicht- zu Schwermetallen markiert.

Der hohe Schmelzpunkt von Titan ist eine Eigenschaft, die mehr für die Verarbeitung im Dentallabor eine Rolle spielt. Daher soll an dieser Stelle nur erwähnt werden, dass hieraus eine hohe thermische Stabilität beim Aufbrennvorgang von Keramiken resultiert, die Verformungen vermeidet.

Eine weitere wichtige Eigenschaft ist die geringe Wärmeleitfähigkeit von Titan (Abb. 4). Legierungen, die auf Nickel oder Cobalt basieren, haben schon eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit als Goldlegierungen, Titan zeigt aber einen nochmals geringeren Wert. Dies ist insbesondere bezüglich einer verminderten thermischen Irritation der Pulpa von Bedeutung. Auch bei Modellgussarbeiten mit großen Oberflächen im Kontakt zur Schleimhaut ist der wärmeisolierende Effekt von Titan ein großer Nutzen für den Patienten.

Die relative Röntgentransparenz von Titan ist eine weitere Eigenschaft, die aus diagnostischen Gründen besonders nützlich ist. Im Falle Suprastrukturen auf der Basis von Goldlegierungen, die die Röntgenstrahlung stark abschirmen, ist es nicht möglich, den Zahn unter einer Krone zu röntgen, jedenfalls nicht mit für den Patienten akzeptablen Strahlendosen. Die Absorption von Röntgenstrahlen ist proportional zur 4. Potenz der Ordnungszahl, die dem Periodensystem der Elemente entnommen werden kann. Daraus ist einfach zu errechnen, dass die Röntgentransparenz von Titan 166 mal größer ist als die von Gold.

Die gute Röntgentransparenz ermöglicht es nicht nur dem Zahnarzt, diagnostische Maßnahmen durchzuführen, sie erlaubt auch dem Zahntechniker die Qualität seines Gusses zu kontrollieren.

Die Ästhetik von Kronen und Brücken hängt auch von der Verblendkeramik ab, die zur Verfügung steht. Die Verblendfähigkeit von Titan mit einer geeigneten Aufbrennkeramik ist deshalb eine weitere wesentliche Eigenschaft, auf die einzugehen ist.

Im Vergleich zu den bekannten konventionellen Legierungen hat Titan einen sehr niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Herkömmliche Dentalkeramiken können daher nicht zum Verblenden von Titan eingesetzt werden. Entsprechende, speziell in der Wärmedehnung auf Titan abgestimmte Aufbrennkeramiken sind aber heute verfügbar.

Es ist auch bekannt, dass Titan eine hohe Affinität zu Sauerstoff hat. Diese hohe Affinität führt zur Bildung einer Passivschicht auf der Titanoberfläche, die der eigentliche Grund der guten Biokompatibilität dieses Materials ist. Während des Aufbrennprozesses der Keramik ist die hohe Sauerstoffaffinität jedoch eher unerwünscht.

Daher wird die Oberfläche des Titangerüsts in einem ersten Brand mit einem speziellen Bonder versiegelt.

Für dentale metallkeramische Systeme gibt es eine Normanforderungen, die eine minimale Verbundfestigkeit von 25 MPa vorschreibt, die im Dreipunktbiegeversuch ermittelt wird.

Untersuchungen der Titan-Keramik-Haftung liefern Ergebnisse von bis zu 42 MPa, die im gleichen Bereich liegen wie für konventionelle klinisch bewährte Metallkeramiksyste (Abb. 5).

Nicht nur hohe Verbundfestigkeiten können mit qualitativ hochwertigen Aufbrennkeramiken für Titan erzielt werden, sondern es werden auch höchste ästhetische Ansprüche erfüllt (Abb. 6).

#### **4. Das „alles aus Titan“-Konzept**

Betrachtet man die oben diskutierten Eigenschaften von Titan, so darf man sicher davon ausgehen, dass Titan ein Werkstoff ist, der für die meisten klinischen Indikationen bestens geeignet ist.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass alle dentalen Implantate aus Titan oder Titanlegierungen bestehen. Daher ist es wünschenswert, Titan ebenfalls für die Suprastrukturen zu verwenden. Dieser Gedanke entspricht der Konzeption „nur ein Metall im Mund- alles aus Titan“. Verglichen mit Gold- oder CoCr-Legierungen hat Titan die beste Eignung zum Einsatz für unterschiedlichste prothetische Anwendungen und die Herstellung von implantatgetragenen Suprastrukturen (Abb. 7) (4). Betrachtet man die Situation bei kombiniertem Zahnersatz, so ist es offensichtlich, dass die Verwendung nur eines Materials einen effektiven Beitrag dazu leistet, unerwünschte Nebenwirkungen zu vermeiden. Dies vor allem dann, wenn die unerwünschten Nebenwirkungen auf unterschiedlichen elektrischen Potentialen verschiedener Legierungen beruhen (5). Bedingt durch das Entstehen elektrischer Potentiale kann nicht nur Korrosion entstehen, sondern Patienten können auch Empfindungen wie elektrische Schläge oder metallischen Geschmack empfinden. Die Verwendung von Titan ermöglicht es, alle diese negativen Erscheinungen zu vermeiden und auch die sensibelsten Patienten zuverlässig zu versorgen. Für gute Implantatsysteme sind heute auch vorgefertigte Titananteile verfügbar, die dem jeweiligen Implantatsystem speziell angepasst sind und höchste Präzision besitzen (Abb. 8). Diese vorgefertigten Teile in Verbindung mit individuell gegossenen Konstruktionen kombinieren Präzision und Flexibilität für implantatgetragenen Zahnersatz (Abb. 9).

Ohne Probleme und mit nur geringen Kosten können, auch ohne Gussprozesse, vorgefertigte Titanstege, Hülsen, Retainer oder konische Abutments durch Laserschweißen miteinander zu präzisen Restaurationen verbunden werden (Abb. 10).

## 5. Laserschweißen

Vorgefertigte Teile können mittels der Laserschweißtechnologie leicht miteinander verbunden werden.

Der Vergleich dreier unterschiedlicher Verbundtechniken zeigt, weshalb das Laserschweißen die Methode der Wahl zum Verbinden von Titan ist:

Titan-Lote, die für technische Anwendungen verwendet werden, erfüllen nicht die medizinischen Anforderungen bezüglich Biokompatibilität und Korrosionsbeständigkeit. Diese Lote bestehen beispielsweise zu 70 % aus Ti, 20 % aus Pd und 10 % aus Cu.

Beim Plasmaschweißen erfolgt eine relativ großflächige Wärmeeinbringung, wodurch Verformungen der gefügten Teile auftreten können.

Nur mittels Laserschweißen ist es möglich, biokompatible Verbindungen herzustellen. Hierbei erstreckt sich auch die Wärmeeinbringung nur auf sehr kleine Bereiche, und Deformationen können weitgehend vermieden werden. Die Festigkeit einer Titan- Laserschweißung entspricht der des Gusses, d.h. es entstehen keine geschwächten Bereiche wie beim Löten. Mittels Laserschweißen kann deshalb eine präzise und spannungsfreie Suprastruktur hergestellt werden.

## 6. Zusammenfassung

Titan ist der ideale dentale Werkstoff, nicht nur, aber auch für implantatgetragene Suprastrukturen. Titan zeigt eine sehr gute Biokompatibilität, ist für einen breiten Anwendungsbereich geeignet, erlaubt höchste Präzision und erfüllt in Verbindung mit einer geeigneten Aufbrennkeramik auch höchste ästhetische Ansprüche.

## 7. Literatur

1. BUNDESGESUNDHEITSAMT, Empfehlungen zur Risikominimierung bei der Auswahl und Verarbeitung von zahnärztlichen Gußlegierungen/Dentalloten und kieferorthopädisch verwendeten Legierungen, Berlin, 1993
2. REULING,N.: Biologische Verträglichkeit von Dentallegierungen, in: SIEBERT,G.:Dentallegierungen in der zahnärztlichen Prothetik, Carl Hanser
3. PRAUD, C., Apport de la ceramique Triceram a la realisation de prothese ceramo metalliques sur titan, Ph.D. Thesis, Universite de Nantes, 1999
4. LENZ, E.: Titan als prothetischer Werkstoff, ZMK 6, 1999
5. LACEFIELD, W.R. : Materials characteristics of uncoated/ceramic coated implant materials, Adv Dent Res 13: 21-26, June 1999

## 8. Abbildungen

Grade	Material number	Chemical composition [mass %]					
		Fe <sub>max</sub>	O <sub>max</sub>	N <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	H <sub>max</sub>	Ti
Ti 1	3.7025	0,15	0,12	0,05	0,06	0,013	Bal. 99,5% Ti
Ti 2	3.7035	0,20	0,18	0,05	0,06	0,013	Bal. 99,5% Ti
Ti 3	3.7055	0,25	0,25	0,05	0,06	0,013	Bal. 99,5% Ti
Ti 4	3.7065	0,30	0,35	0,05	0,06	0,013	Bal. 99,5% Ti

Abb. 1: Chemische Zusammensetzung von reinem Titan nach DIN 17850.

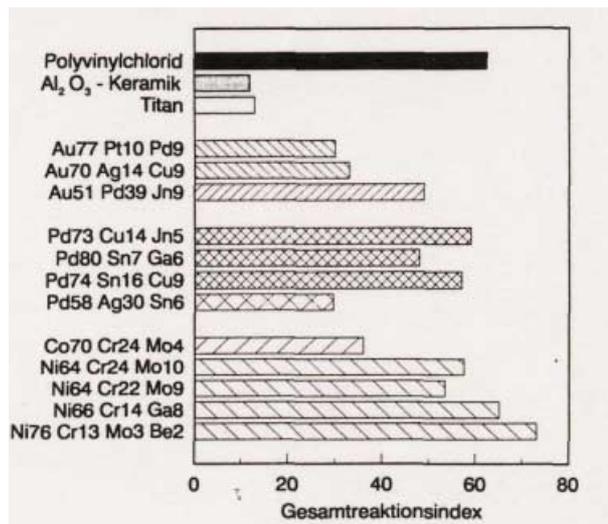


Abb. 2: Ergebnisse des intramuskulären Implantationstests (2).

<b>Zugfestigkeit <math>R_m</math> (MPa)</b>	<b>600</b>
<b>Elastizitäts Modul (GPa)</b>	<b>110</b>
<b>Vickers Härte (HV 10)</b>	<b>200</b>
<b>Bruchdehnung (<math>A_5</math>)</b>	<b>12</b>
<b>Typ</b>	<b>4</b>

**Abb. 3:** Festigkeitseigenschaften von reinem Titan (Titanguss).

<b>Metall</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit [<math>Wm^{-1} K^{-1}</math>]</b>
<b>Gold</b>	<b>297</b>
<b>Nickel</b>	<b>92</b>
<b>Cobalt</b>	<b>71</b>
<b>Titan</b>	<b>22</b>
Schmelz	1,5 - 1,76
Dentin	0,99 - 1,87

**Abb. 4:** Wärmeleitfähigkeit von Metallen.

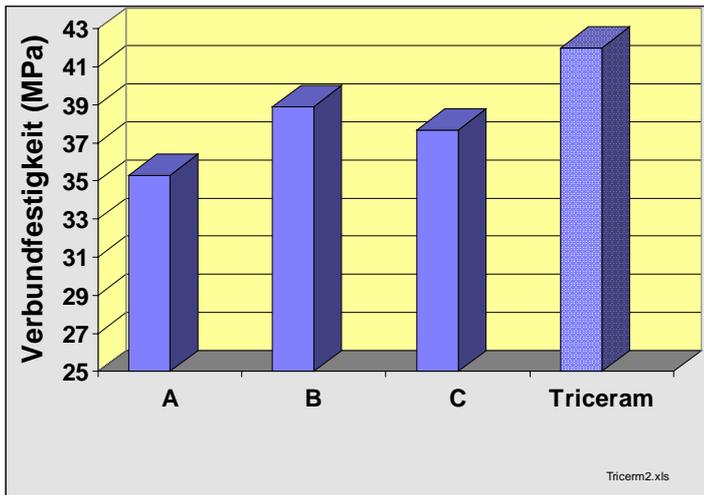


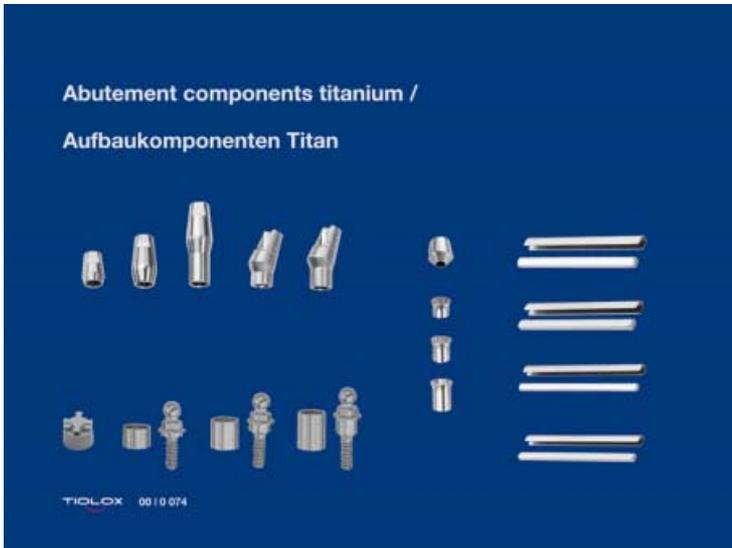
Abb. 5: Verbundfestigkeit Titan/Triceram (DIN EN ISO 9693)



Abb. 6: Frontzahnkrone, Titan (Tritan), verblendet mit Triceram<sup>®</sup>, Esprident

Indikation	Titan	Co-Basis	Au-Basis
Füllungen, Teilkronen	+	--	++
Vollkronen	++	+	++
Verblendkronen	++	++	++
Brücken	++	++	++
Adhäsiv-Brücken	+	++	--
Gußprothesen mit Klammern	++	++	--
Geschiebe-, Steg-Prothesen	++	++	+
Teleskop-Prothesen	++	++	+
Implantat-Suprakonstruktionen	++	+	+
Endodontische Stifte	++	+	++
	18	15	13

Abb. 7: Einsatzbereiche von Titan und Legierungen (4)



**Abb. 8:** Implantat-Aufbaukomponenten, Titan (Tilox®)



**Abb. 9:** Teleskopkronen verbunden mit Stegen, Titan



**Abb. 10:** Vorgefertigte Titan-Aufbauten (Tiolox<sup>®</sup>), Stege, Hülsen, Retainer, lasergeschweißt