

Die EMF-Legierung Wirobond von Bego feiert 30-jähriges Jubiläum

Eine Erfolgsgeschichte

Ein Beitrag von PD Dr. Roland Strietzel, Bremen/Deutschland

Nach wie vor stellen keramisch verblendete Metallgerüste den Stand der Technik dar. Seit Mitte der 60iger Jahre wurden für diese Technik vorwiegend Edelmetall (EM)-Legierungen verwendet. Aufgrund des hohen Preises der Edelmetalle sind diese Legierungen in den vergangenen Jahren stark zurück gedrängt worden. Ersetzt wurden sie vor allem durch edelmetallfreie (EMF) Legierungen und Yttrium-teilstabilisiertes Zirkonoxid. Aus der Gruppe der EMF-Legierungen sind hauptsächlich die Nickel-Chrom- und Cobalt-Chrom-Legierungen zu nennen. Cobalt-Chrom-Legierungen gibt es sowohl für die Kronen- und Brücken- als auch für die Modellgusstechnik. Bei den Nickel-Legierungen werden überwiegend keramisch verblendbare Varianten verwendet. Es gibt aber auch Nickel-Chrom-Legierungen, die nur für die Verblendung mit Kunststoff vorgesehen sind. Im Folgenden wird die Gruppe der aufbrennfähigen Cobalt-Chrom-Legierungen behandelt. Anlass ist das 30-jährige Bestehen der Marke Wirobond.

Historie und Einteilung von EMF-Legierungen

Schon vor Jahrzehnten wurde von Bego die erste aufbrennfähige edelmetallfreie (EMF) Legierung eingeführt [1,2]. Diese Legierung, die den Grundstock für die nickelbasierte Wiron-Familie von Bego bildete, gab den Startschuss für die aufbrennfähigen EMF-Legierungen in Deutschland. Betrachtet man jedoch die Geschichte genauer, wurden EMF-Legierungen schon wesentlich länger in der Zahnheilkunde verwendet [3]. Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte der US-Amerikaner Haynes eine Cobalt-Basis-Legierung (Ausgangspunkt für die Gruppe der so genannten Stellite), die die Grundlage der heute in der Zahnheilkunde verwendeten Modellguss-Legierungen, aber auch für die der Kronen- und Brückentechnik bildet.

Die Modellguss-Legierungen zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit aus, was prinzipiell auch für Gerüste zur keramischen Verblendung günstig ist. Allerdings weisen die Modellguss-Legierungen einen für die konventionellen Verblendke-

ramiken etwas zu hohen Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK) auf. Für die niedrigschmelzenden und hochexpandierenden Keramiken (so genannte LFC-Massen; low fusing ceramics) liegt er jedoch zu tief.

Um diesen Legierungstyp auch für die Verblindtechnik zugänglich zu machen, musste daher unter anderem der WAK angepasst werden – die Geburtsstunde der Wirobond-Legierungen. In der Regel unterscheiden sich die aufbrennfähigen Cobalt-Chrom-Legierungen von den Modellguss-Legierungen durch das Zuliegen von Wolfram. Es gibt aber auch Ausnahmen (zum Beispiel das Wirobond LFC). Im Laufe der Zeit wurden immer wieder neue Varianten der Cobalt-Legierungen entwickelt. Diese unterschiedlichen Legierungen können in Gruppen unterteilt werden (siehe Abb. 2). Zum einen gibt es die nicht-aufbrennfähigen Legierungen für die Modellgusstechnik (Wironit- und Wironium-Legierungen) sowie solche, die mit Keramik verblendet werden können (Wirobond-Legierungen).

Die Geschichte der Cobalt-Chrom-Legierungen bei Bego ist lang und reicht bis 1953 zurück (Tab. 1). Hier wurde die erste Modellguss-Legierung auf den Markt gebracht, die in unveränderter Form bis heute weltweit erfolgreich verkauft wird. So genannte „aufgestickte Legierungen“, das heißt mit Stickstofflegierte Legierungen wurden 1972 eingeführt. 1982 wurde die erste mit Keramik zu verblendende Cobalt-Chrom-Legierung, das Wirobond, auf den Markt gebracht. Elf Jahre später kam der Nachfolger, das Wirobond C. Auch diese Legierung wird seit-

Kontaktadresse

Bego Bremer
Goldschlagerei
PD Dr. R. Strietzel
Wilhelm-Herbst-
Straße 1
28359 Bremen
Fon +49 421 2028-130
strietzel@bego.com
www.bego.com



Abb. 1
Auch hochkomplexe Arbeiten lassen sich mit Wirobond-Legierungen herstellen

Tab. 1 – Geschichte der Cobalt-Chrom-Legierungen von Bego

Jahr	Name	
1953	Wironit	Die erste Cobalt-Chrom-Legierung für die Modellgusstechnik von Bego; wird seit ihrer Markteinführung unverändert vertrieben
1972	Wironium	Hier wurde erstmalig eine mit Stickstoff legierte Legierung (aufgestickte Legierung) verwendet
1982	Wirobond	Erste aufbrennfähige Cobalt-Legierung für die keramische Verblendung
1993	Wirobond C	Der Klassiker unter den aufbrennfähigen Cobalt-Chrom-Legierungen; seit 25 Jahren weltweit erfolgreich auf dem Markt
1997	Wironit LA	Modellguss-Legierung, die für das Laserschweißen optimiert wurde
2000	Wirobond C+	Erste aufbrennfähige Dental-Legierung, die im SLM-Prozess verarbeitet wurde
2001	Wirobond LFC	Eine der allerersten Cobalt-Chrom-Legierungen, die mit den niedrigschmelzenden und hochexpandierenden Keramiken verblendet werden kann
2005	Wirobond SG	Variante vom Wirobond C, die Gussvariante vom Wirobond C+
2005	Wirobond 280	Derzeitige Premium-Legierung; mit Markteinführung wurde das Segment der „weichen“ Cobalt-Chrom-Legierungen eingeläutet
2007	Wirobond MI	Wird exklusiv für Standardabutments verwendet
2010	Wirobond MI+	Typ 5 Legierung für gefräste Abutments und Stege sowie für Kronen und Brücken

Literatur



Literaturliste via QR-Code oder www.teamwork-media.de

dem in unveränderter Form weltweit erfolgreich verkauft. Durch einen sehr aufwändigen Produktionsprozess ist es möglich das Element Cer (Ce) hinzu zu legieren. Dieses Element sorgt unter anderem dafür, dass sich Oxidschichten nur langsam ausbilden. Dies ist äußerst vorteilhaft für die Gießzeitpunkterkennung (besonders beim Flammenguss) und für den Keramikverbund.

Um die Jahrtausendwende entwickelte Bego den SLM-Prozess (selective laser melting) [4-10]. Hierbei handelt es sich um einen aufbauenden Produktionspro-

zess aus der Familie der Rapid Prototyping. Dieser Prozess wurde auf die Belange der Zahntechnik herunterskaliert.

Als erstes Material für die dentale SLM-Produktion wurde Wirobond C+ verwendet. Hierbei handelt es sich um ein leicht modifiziertes Wirobond C. Hierbei konnte auf das Element Cer verzichtet werden. Für den Zahntechniker hatte dies den Vorteil, dass er, trotz einer völlig neuen Produktionsmethode, auf ein Material zurückgreifen konnte, das er schon kannte [11]. Das heißt für die weitere Bearbeitung (Strahlen, Verblenden ...) konnte er wie bislang mit Wirobond C arbeiten. Das SLM-Verfahren hat sich mittlerweile zu einem bewährten Produktionsverfahren etabliert. Bego wandte als erstes Dentalunternehmen weltweit diese Technologie für die Serienproduktion an und hat hier eine Vorreiterstellung inne [4-10,12-14].

In der mitteleuropäischen, skandinavischen sowie in den Benelux-Ländern wurden in den 80er Jahren die sogenannten LFC-Massen (low fusing ceramic) eingeführt. Diese niedrigschmelzenden,

hochexpandierenden Keramiken benötigen Legierungen mit einem WAK von zirka $16 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$. Sehr lange wurden hier Gold-Legierungen verwendet. Im Lauf der Zeit nahm jedoch der Preisdruck zu, sodass nach Alternativen gesucht wurde. Um diese LFC-Massen auch für EMF-Legierungen nutzen zu können, wurde daher Wirobond LFC entwickelt [15].

Im Jahr 2005 wurden die Legierungen Wirobond SG und Wirobond 280 auf den Markt gebracht. Wirobond SG ist eine preisgünstige Variante für den Kronen- und Brückenbereich. Im Gegensatz zu dem etwa zeitgleich auf den Markt gebrachten Wirobond 280 besitzt es eine höhere Härte. Wirobond 280 besitzt somit die niedrigere Härte und wird als wesentlich leichter beim Ausarbeiten empfunden (günstige Spanbarkeit). Diese Legierung setzte schnell Standards. Nicht zuletzt daran zu erkennen, dass ab Ende 2005 viele Cobalt-Chrom-Legierungen anderer Mitbewerber ebenfalls eine Härte von 280 HV 10 aufwiesen.

In der Implantologie werden standardmäßig Abutments aus Titan verwendet.

Bego Cobalt-Chrom Legierungen

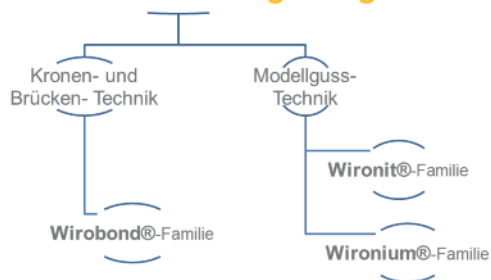


Abb. 2 EMF-Legierungen auf Cobalt-Basis

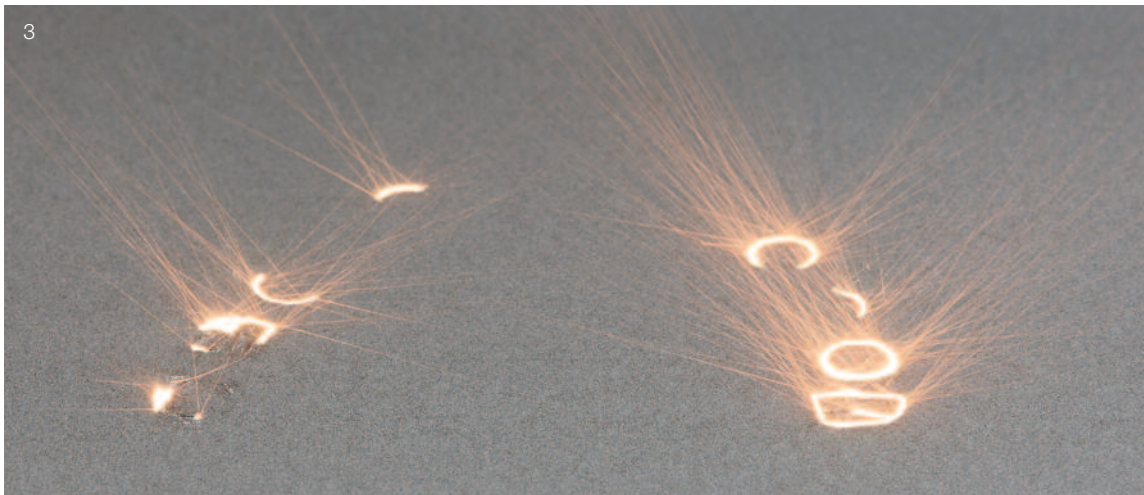


Abb. 3 Beim SLM-Prozess werden mittels eines Laserstrahls lageweise aufgebraute Pulverschichten verfestigt und somit aufgebaut. Mit dieser Technologie können Gerüste ökonomisch hergestellt werden

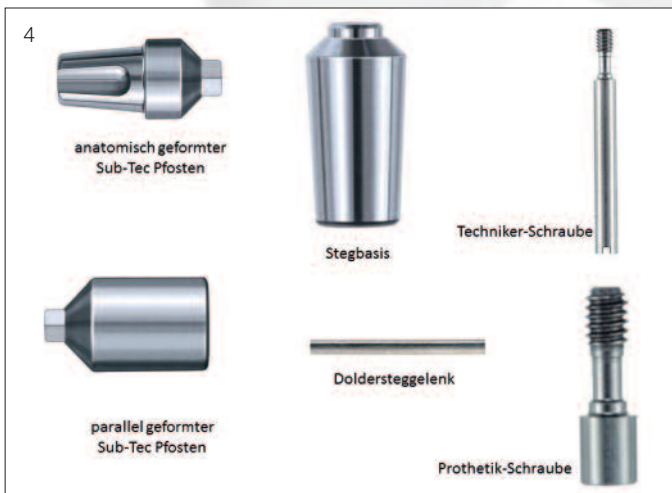


Abb. 4 Wirobond MI Abutments und Hilfstelle für das Bego Semados Implantat-System

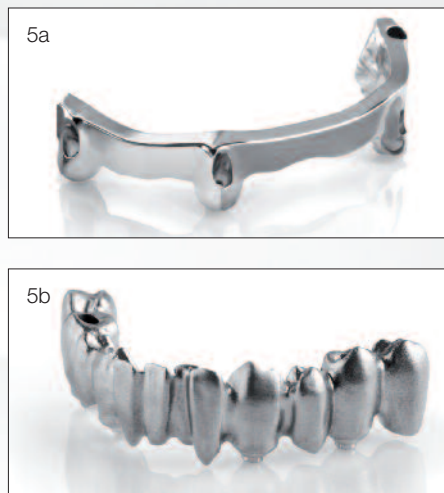


Abb. 5a und b Wirobond MI+ Steg und implantatgetragene Brücke

Ein Nachteil ist das Laserschweißen dieses Materials, da der Zahntechniker hier extrem sorgfältig arbeiten muss. Schon geringste Spuren von Sauerstoff können die Schweißnaht verspröden lassen. Daher ist die richtige Verwendung von Schutzgas ein wesentlicher Parameter des Schweißvorgangs [16]. In der Praxis führte dies häufig zu Problemen. Daher wurde 2007 das Wirobond MI (Abb. 4) eingeführt, das eine höhere Festigkeit als Titan besitzt [17,18]. Die standardisierten Abutments auf Cobalt-Chrom-Basis lassen sich deutlich einfacher und dauerhafter laserschweißen [19] und zeigen auch keine „Vergrauung“ im Mund wie bei Titan. Insgesamt ist das Material auch fester als Titan, was sich sowohl im statischen [19] als auch im dynamischen Dauerschwing-

Versuch zeigen lässt [19,20]. Auch in der klinischen Praxis haben sich die Wirobond MI-Abutments bewährt [21]. Was unbedingt beachtet werden muss, ist, dass der Zahntechniker Arbeiten mit Wirobond MI auf gar keinen Fall Lötten oder direkt verblenden darf. Durch diese thermischen Prozesse kommt es zu einer Oxidation des Materials. Die entstandenen Oxide können jedoch nur mechanisch entfernt werden. Dies ist im Bereich der Interface-Zone zwischen Implantat und Abutment völlig indiskutabel, da hierdurch die Passung unwiederbringlich zerstört würde. Aber auch der Verbleib der Oxidschicht ist nicht möglich. Es würde zu einem instabilen mechanischen System führen („Zerbröseln“ der Oxidschicht im Laufe der Zeit durch die

Kaukräfte). Zudem würde durch Korrosion und Lösungsprozesse eine poröse Schicht entstehen. Hier kann es zu einer Keimbelastung kommen, die durch keine Reinigungsmaßnahme zu beheben wäre. Als neueste Variante wurde das Wirobond MI+ eingeführt. Hier werden aus pulvermetallurgisch hergestellten Frätscheiben (Rohlingen, Blanks) individuelle Abutments, Stege aber auch Kronen- und Brückengerüste frästechnisch hergestellt (Abb. 5). Last but not least ist zu erwähnen, dass die Wirobond-Legierungen in ein System eingebettet sind. Neben verschiedenen Hilfstellen und Materialien sind dabei vor allem die Einbettmassen sowie die Gießgeräte der Bego für die optimale Verarbeitung dieser und anderer Legierungsgruppen konzipiert. In den

Tab. 2 – Derzeit (Stand 2012) erhältliche Wirobond-Varianten für die konventionelle (zahntechnischer Guss) und CAD/CAM-Technologie (Fräs- und SLM-Technik) und Angabe des Typs (gemäß ISO 22674 [22])

Legierung	Herstellung/ Verarbeitung	Typ	Indikationen
Wirobond SG	Gusstechnisch/ zahntechni- scher Guss	5	<input type="checkbox"/> Kronen, Brücken, da Typ 5 Legierung prinzipiell auch für Modellgusstechnik verwendbar <input type="checkbox"/> Freigabe für alle zahntechnischen Arbeiten <input type="checkbox"/> wird vom Zahntechniker gegossen <input type="checkbox"/> für die keramische Verblendung freigegeben
Wirobond LFC	Gusstechnisch/ zahntechni- scher Guss	5	<input type="checkbox"/> Kronen, Brücken, da Typ 5 Legierung prinzipiell auch für Modellgusstechnik verwendbar <input type="checkbox"/> Freigabe für alle zahntechnischen Arbeiten <input type="checkbox"/> wird vom Zahntechniker gegossen <input type="checkbox"/> für die keramische Verblendung mit niedrigschmelzenden und hochexpandierenden Massen (so genannte LFC Massen) freigegeben
Wirobond C	Gusstechnisch/ zahntechni- scher Guss	4	<input type="checkbox"/> Kronen, Brücken <input type="checkbox"/> Freigabe für alle zahntechnischen Arbeiten <input type="checkbox"/> wird vom Zahntechniker gegossen <input type="checkbox"/> besonders für den Flammenguss geeignet <input type="checkbox"/> für die keramische Verblendung freigegeben
Wirobond 280	Gusstechnisch/ zahntechni- scher Guss	5	<input type="checkbox"/> Kronen, Brücken, da Typ 5 Legierung prinzipiell auch für Modellgusstechnik verwendbar <input type="checkbox"/> Freigabe für alle zahntechnischen Arbeiten <input type="checkbox"/> wird vom Zahntechniker gegossen <input type="checkbox"/> für die keramische Verblendung freigegeben
Wirobond C+	Pulvermetallur- gisch/ SLM	5	<input type="checkbox"/> Kronen, Brücken, da Typ 5 Legierung prinzipiell auch für Modellgusstechnik verwendbar <input type="checkbox"/> Freigabe für alle zahntechnischen Arbeiten <input type="checkbox"/> wird mithilfe des SLM-Verfahrens verarbeitet <input type="checkbox"/> für die keramische Verblendung freigegeben
Wirobond MI	Gusstechnisch/ Frästechnisch	4	<input type="checkbox"/> standardisierte Abutments <input type="checkbox"/> wird von Bego Implant Systems frästechnisch verarbeitet <input type="checkbox"/> nicht für die keramische Verblendung freigegeben
Wirobond MI+	Pulvermetallur- gisch/ Frästechnisch	5	<input type="checkbox"/> Kronen und Brücken (teilweise, voll oder unverblendet) individuelle Abutments, Stege <input type="checkbox"/> wird von Bego Implant Systems frästechnisch verarbeitet <input type="checkbox"/> nicht für die keramische Verblendung freigegeben, wenn es sich um Arbeiten mit Abutments handelt (zum Beispiel Stege oder individuelle Abutments)

verschiedenen Fachabteilungen wird bei Bego ständig an der Optimierung der Produkte geforscht. Die Ergebnisse fließen direkt in das weltweit anerkannte Trainingssystem der Bego ein, sodass dem Zahntechniker neben den reinen Zahlen auch die Anwendung praxisnah vermittelt werden kann.

Wirobond-Varianten

Betrachtet man die einzelnen Varianten von Wirobond (Tab. 2), stellt man fest, dass es mit Blick auf die Indikationen kaum Unterschiede gibt. Die Zusammensetzungen der Legierungen sind teil-

weise sogar identisch. So weisen Wirobond SG/C+/MI/MI+ die gleiche Zusammensetzung auf. Dagegen haben Wirobond C (mit Cer legiert), Wirobond LFC (mit Eisen legiert) und Wirobond 280 (mit Gallium legiert) zusätzliche Legierungselemente. Wie der Name besagt, bestehen Cobalt-Chrom-Legierungen vorwiegend aus den Elementen Cobalt und Chrom. Der Hauptbestandteil Cobalt gibt die wesentlich mechanischen, chemischen und biologischen Eigenschaften vor. Reines Cobalt kann nicht verwendet werden, da es weder mechanisch noch chemisch die Anforderungen in der Mundhöhle erfüllen kann.

Wie auch bei den Nickel-Chrom-Legierungen [23] ist ein Chromgehalt ab 20 Prozent nötig, um eine ausreichende Korrosionsresistenz zu erzielen. Aufgrund dieses relativ hohen Gehalts beeinflusst das Chrom auch den WAK. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass das Molybdän ebenfalls eine wesentliche Rolle für das Korrosionsgeschehen spielt [23-25], sodass das BfArM (Bundesamt für Arzneimittel und Medizinprodukte) 1998 empfahl, nur Cobalt-Chrom-Legierungen mit mindestens vier Prozent Molybdän zu verwenden [26]. Molybdän kann durch Wolfram teilweise oder völlig ersetzt werden. Allerdings ist

Tab. 3 – Bestandteile und ihre Funktion von aufbrennfähigen Cobalt-Chrom-Legierungen

Element	Funktion
Cobalt (Co)	Cobalt bestimmt als Hauptbestandteil die wesentlichen mechanischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Legierung
Chrom (Cr)	Chrom ist ein unerlässliches Element für die Korrosionsresistenz. Es beeinflusst aber auch stark die Festigkeit und den WAK. Die Verblendkeramik koppelt an die passivierende Chromoxidschicht an. Chrom ist der wichtigste Partner für den keramischen Verbund.
Molybdän (Mo)	Ähnlich wie Chrom. Molybdän ist wichtig um die Korrosionsresistenz auch im sauerstoffarmen Milieu und bei niedrigen pH-Werten zu gewährleisten.
Wolfram (W)	Kann Molybdän ersetzen. Bezüglich der Korrosionsresistenz ist es aber nur zirka halb so wirksam.
Silizium (Si)	Verbessert Fließigenschaften der Schmelze, Sauerstofffänger
Kohlenstoff (C)	Verbessert die Fließfähigkeit der Schmelze, erhöht die Festigkeit, beeinflusst allerdings negativ die Laserschweißbarkeit, da besonders bei zu hohem Energieeintrag Carbide in der Schweißnaht gebildet werden, die zu einer erhöhten Sprödigkeit der Schweißnaht führen.
Niob (Nb), Tantal (Ta), Titan (Ti), Vanadium (V), Eisen (Fe), Mangan (Mn)	Beeinflussen die Festigkeit der Legierung und können bestimmte Elemente abfangen/binden, zum Beispiel bildet Tantal leicht Carbide und kann so den versprödenden Einfluss von Kohlenstoff minimieren. Mangan kann Schwefel binden.
Gallium (Ga) Indium (In)	Mit Gallium und Indium kann die Härte der Legierung abgesenkt werden. Außerdem wirken die beiden Elemente als (zusätzliche) Haftoxidbildner. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass Indium im Gegensatz zu Gallium kaum in Cobalt löslich ist. Indiumhaltige Varianten von Cobalt-Chrom-Legierungen neigen daher zur Ausbildung von verschiedenen Phasen. Dies ist unter dem Gesichtspunkt der Korrosion sehr ungünstig, wenn einzelne Phasen nicht korrosionsresistent sind. Dies führt zu hohen Ionenabgaben.
Edelmetalle	Zusätze von Edelmetallen sind kritisch zu sehen. Gold und Platin sind in der Cobalt-Matrix nur sehr wenig löslich. Hier kann es Probleme mit einer Mehrphasigkeit geben (siehe Indium). Auch machen zwei bis fünf Prozent Edelmetalle aus einer Cobalt-Chrom-Legierung keine EM-Legierung.
Stickstoff	Kann Kohlenstoff substituieren.
Bor	Macht helles Oxid, führt jedoch zu einer Versprödung, senkt und verbreitert das Schmelzintervall.

Wolfram bezüglich des Korrosionsschutzes nur halb so wirksam wie Molybdän. Silizium ist für das Fließverhalten der Schmelze wichtig. Mit steigendem Gehalt versprödet die Legierung, sodass hier ein Kompromiss gesucht werden muss. Auch senkt Silizium das Schmelzintervall. Allerdings werden bei hohen Siliziumgehalten eutektische Systeme gebildet, was für die Lotherstellung günstig, bei den Legierungen jedoch unerwünscht ist. Kohlenstoff wird vor allem bei den Modellguss-Legierungen auf Cobalt-Chrom-Basis verwendet, um dünnflüssige Schmelzen zu erreichen. Kohlenstoff verfestigt die Legierungen. Allerdings hat der Kohlenstoff beim Laserschweißen Nachteile. Hier kommt es, besonders bei zu schnellem und zu hohem Energieeintrag, zur Carbiddbildung. Carbide können sich an den Rändern der Schweißnähte anreichern und dort zu einer starken Versprö-

dung führen, was wiederum zum Versagen der Schweißungen führen kann. Wirobond-Legierungen (außer Wirobond LFC) sind nicht mit Kohlenstoff legiert und daher als „kohlenstofffrei“ zu bezeichnen.

Stickstoff kann Kohlenstoff ersetzen, ohne dass es zu den geschilderten Nachteilen kommt. Allerdings ist das „Aufstickern“ (= Legieren mit Stickstoff) technisch nicht ganz einfach.

Das Zulegieren von Niob, Tantal, Titan, Vanadium, Eisen und/oder Mangan kann die mechanischen Eigenschaften optimieren. Allerdings können hier schon geringe Gehalte auch unerwünschte Effekte hervorrufen. So führen Titanzusätze schon mit relativ geringen Prozentsätzen zu deutlich erhöhter Härte und Sprödigkeit. Vanadium, Eisen und Mangan führen zu dunklen Oxiden.

Gallium und Indium können die Härte von Cobalt-Chrom-Legierungen erniedrigen. Allerdings sind die Löslichkeiten begrenzt. Besonders Indium ist kritisch zu betrachten, da es in der Cobaltmatrix kaum löslich ist. Dadurch kann es zur

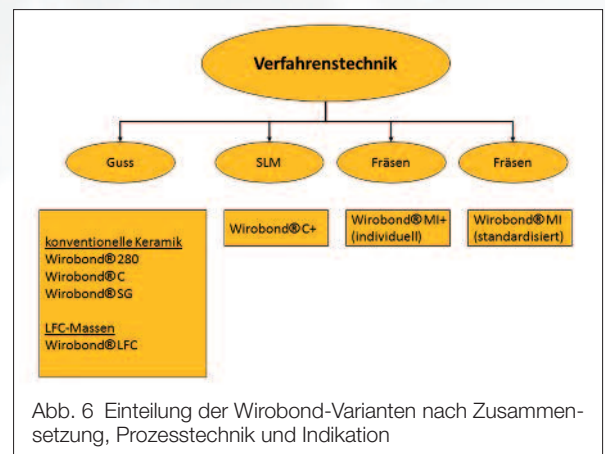


Abb. 6 Einteilung der Wirobond-Varianten nach Zusammensetzung, Prozesstechnik und Indikation

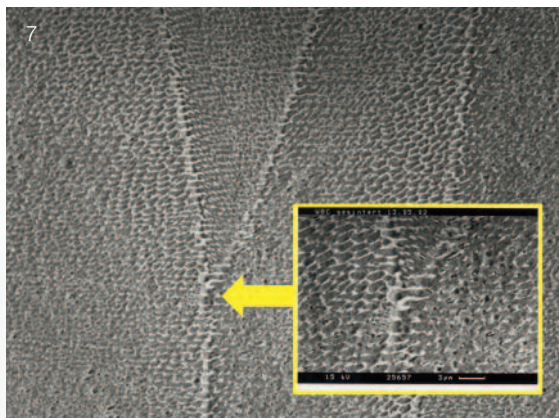


Abb. 7 Sehr feinkörniges Gefüge einer SLM-Arbeit aus Wirobond C+. Die Korngrößen betragen hier nur wenige µm und liegen deutlich unter den Korngrößen gegossener Objekte

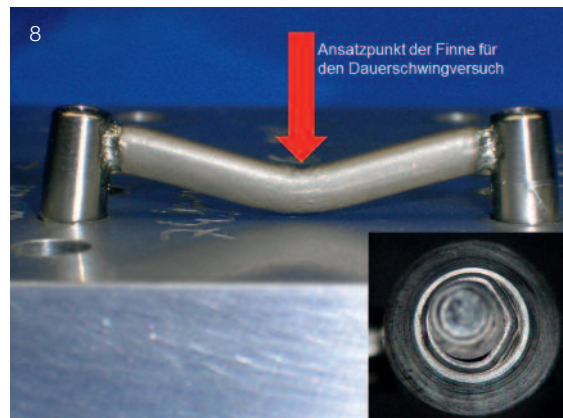


Abb. 8 Lasergeschweißte Stegkonstruktion aus Wirobond MI nach dynamischer Prüfung (eine Millionen Lastzyklen). Es kam zum Verbiegen des Steges während die Schweißnähte intakt blieben. Allerdings wurde das Abutment zerstört

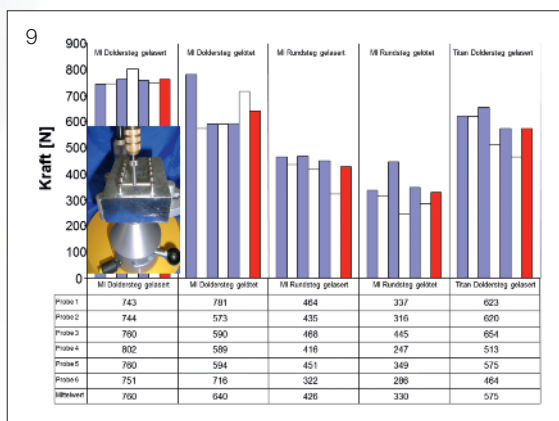


Abb. 9 Vergleich von gelöteten und lasergeschweißten Stegkonstruktionen aus Wirobond MI und Titan nach statischer Prüfung. Es zeigt sich auch der Einfluss des Querschnitts. Die Rundstege weisen einen geringeren Querschnitt auf, als die Dolder-Stege (Dolder ist eine eingetragene Marke)

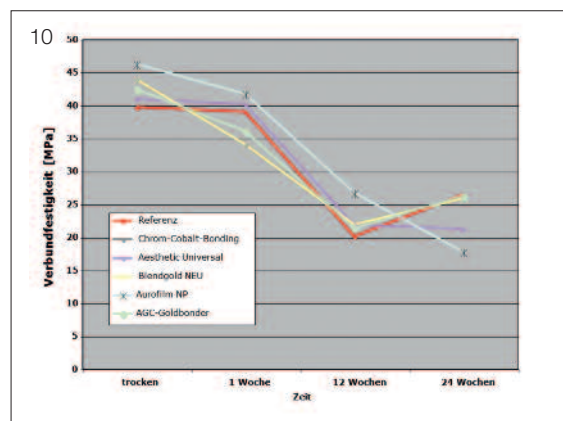


Abb. 10 Mithilfe des Schwickerath-Tests gemäß ISO 9693 [47] wurde der Einfluss von Bondern auf die Verbundfestigkeit geprüft [45]. Es zeigt sich, dass der Haftverbund bei allen untersuchten Systemen im Laufe der Zeit in der hochkorrosiven Lösung abnahm. Am Ende schnitten die Bondner eher ungünstig ab

Ausbildung mehrphasiger Legierungen kommen. Dies ist dann kritisch, wenn einzelne Phasen nicht korrosionsresistent sind. Dies scheint im Falle von Indium in Cobalt-Chrom-Legierungen der Fall zu sein [27].

Gelegentlich gibt es Cobalt-Chrom-Legierungen mit Zusätzen von Edelmetallen. In der Regel ist dies werkstoffkundlich nicht sinnvoll. Zwei bis fünf Prozent Edelmetall machen aus einer Cobalt-Basis-Legierung keine EM-Legierung, wie es den Kunden manchmal suggeriert wird. Auch ein ökonomischer Vorteil ist nicht zu erkennen. Denn werkstoffkundlich muss man diese Legierungen mit den „reinen“ Cobalt-Chrom-Legierungen vergleichen. Dieser Vergleich zeigt jedoch, dass die „edelmetallhaltigen-

Nichtedelmetall-Legierungen“ keine Vorteile bieten. Aufgrund der geringen Gehalte an Edelmetallen sind sie nicht scheidbar, sodass hier ein positiver ökonomischer Effekt bezweifelt werden muss. Auch von der Korrosion her müssen diese Legierungen kritisch gesehen werden. Gold und Platin sind nur sehr begrenzt in Cobalt löslich, sodass hier mehrphasige Legierungen wahrscheinlich sind. Besonders das gleichzeitige Vorliegen von Gold und Indium scheint diese Problematik zu verstärken. Die Zugabe von Bor erzeugt ein für den Zahntechniker gefälliges helles Oxid und setzt das Schmelzintervall herab. Allerdings verbreitert Bor dieses auch, was ungünstig ist, da es bei einem sehr langsamen Abkühlen (zum Beispiel große Objekte

und/oder ungünstige Anstiftung) zu einer Entmischung der Legierung kommen kann. Auch wird dadurch die Härte erhöht.

Gerüsterstellung

Gemäß der ISO 22674 [22] werden die Wirobond-Legierungen in die Typen 4 und 5 eingeteilt (siehe auch Tab. 2). Damit sind die grundsätzlichen Indikationen festgesetzt. Typ 4-Legierungen sind für Brücken (auch im Seitenzahnbereich), Stege und Suprakonstruktionen einzusetzen. Benötigt man höhere Festigkeiten, zum Beispiel für Modellgussgerüste oder hochbelastete Teile und weitspannige Brücken, bieten sich die Typ 5-Legierungen an. Diese unterschei-

den sich durch eine höhere 0,2 Prozent Dehngrenze und durch die Forderung nach einem Elastizitätsmodul (E-Modul) von mehr als 150 GPa. Je höher diese Werte sind, desto größer ist der Widerstand gegenüber einer elastischen (E-Modul) und plastischen (0,2 Prozent Dehngrenze) Verformung. Während die Typen bezüglich ihrer Indikationen „abwärtskompatibel sind“, ist eine „Aufwärtskompatibilität“ nur durch eine deutlich stärkere/dickere Gestaltung der Objekte zu erreichen. Dies ist nicht immer möglich. So bieten Typ 5-Legierungen auch hinsichtlich der Passung von Abutmentgeometrien (zum Beispiel Sechskant des Abutments) Vorteile, da die Kantenstabilität eine höhere ist als die eines niedrigeren Typs.

Neben der Zusammensetzung spielt auch der Herstellungsprozess und die Verarbeitung des Halbzeugs eine große Rolle für die Typisierung. Gegossene Objekte weisen ein vergleichsweise grobes Gefüge auf. Die Korngrößen liegen hier im zweistelligen μm -Bereich. Werden die Materialien pulvermetallurgisch hergestellt (wie im Falle des SLM-Pulvers Wirobond C+ und der fräsbaren Legierung Wirobond MI+), sind die Korngrößen wesentlich kleiner (zirka 1 bis 5 μm). Das feinkörnige Gefüge ist auch der Grund dafür, dass die pulvermetallurgisch hergestellten Objekte (Wirobond C+, Wirobond MI+) deutlich fester sind als die gusstechnisch hergestellten (Wirobond SG, Wirobond MI), obwohl sie eine identische Zusammensetzung haben.

Nach wie vor ist das Gießen von Legierungen der Stand der Technik. Als Einbettmassen (EBM) werden vorwiegend phosphatgebundene verwendet [28,29]. Die Verwendung von gipsgebundenen EBM für Wirobond-Legierungen ist nicht möglich, da die nötigen Vorwärm- und Gießtemperaturen zu einer Zersetzung dieser Massen führen würde. Dagegen liefern phosphatgebundene EBM (wie zum Beispiel Bellavest SH/Firma Bego) unter Berücksichtigung der Verarbeitungshinweise ausgezeichnete Ergebnisse.

Prinzipiell stehen verschiedene Gussverfahren zur Verfügung (Tab. 4). Die Verwendung von widerstandsbeheizten Öfen ist nicht möglich, da in der Regel die erreichbaren Temperaturen zu niedrig sind. Zum Aufschmelzen der Wirobond-Legierungen werden Temperatu-

ren deutlich oberhalb von 1400 °C benötigt. Optimalerweise werden sie mittels Induktionsheizung und im Vakuum-Druckguss aufgeschmolzen und gegossen. Beim Gießen mit der Flamme muss auf die richtige Einstellung der Flamme geachtet werden. Besonders das Überhitzen muss vermieden werden. Aber auch eine zu „fette“ Flamme (also zu wenig Sauerstoff oder zu viel oder falsches Brenngas) kann die Legierung durch einen zu hohen Kohlenstoffeintrag schädigen. Es dürfen auf gar keinen Fall Graphittiegel oder -einsätze für das Gießen von Cobalt-Chrom-Legierungen verwendet werden. Durch die unvermeidliche Kohlenstoffaufnahme versprödet die Legierung sehr stark. Die Härte der Oberflächen kann stark ansteigen, von zirka 300 HV 10* auf mehr als 700 HV 10. Die Oberflächen wären dann kaum noch zu bearbeiten und würden große Probleme bei der keramischen Verblendung bereiten.

Durch die Variation der Vorwärm- und Gießtemperatur kann die Oberflächenqualität beeinflusst werden. So sind sehr glatte Oberflächen für Sekundärgerüste von Doppelkronen vorteilhaft. Diese erreicht man, indem man die vorgeschriebene Gießtemperatur absenkt. Dadurch wird zwar das Ausfließen erschwert, aber man erhält sehr glatte Oberflächen und der Zahntechniker muss kaum nacharbeiten. Bei großvolumigen Objekten sollte man dagegen die Gießtemperatur eher etwas erhöhen, um eine vollständige Formfüllung zu gewährleisten. Auch hier gilt, dass die Gebrauchsanweisung nicht für alle Fälle die optimale Vorschrift geben kann. Beim Guss muss sich der Zahntechniker einerseits zwischen glatten Oberflächen und andererseits dem Ausfließen und geringen Resten im Tiegel entscheiden. Kältere Güsse ergeben eine glattere Oberfläche, während heißere Güsse ein vollständigeres Ausfließen und weniger Gussrückstände bedingen. Ein Kompromiss

kann erzielt werden, wenn die Vorwärmtemperatur moderat gesenkt und etwas heißer gegossen wird. Das Ergebnis hängt natürlich noch von vielen anderen Parametern ab, sodass die Fachkenntnisse und Erfahrung des Zahntechnikers gefragt sind.

Laserschweißen und Lötten

Cobalt-Chrom-Legierungen wie die der Wirobond-Familie, lassen sich vergleichsweise einfach laserschweißen [30,31]. Zwar ist es auch angeraten, das Schweißen unter einer Argon-Atmosphäre durchzuführen, jedoch ist dies nicht so kritisch zu bewerten, wie zum Beispiel beim Schweißen von Titan [16]. Das Lötten stellt nach wie vor den Stand der Technik dar, jedoch muss auf die richtige Auswahl der Lote geachtet werden. So sind die so genannten „Stahlote“ vergleichsweise korrosionsanfällig [32]. Verwendet man Cobalt-Chrom-Lote, erreicht man hoch korrosionsresistente und mechanisch sehr haltbare Verbindungen. Im Fall von lasergeschweißten oder mit Wirobond-Lot gelöteten Wirobond-Stegkonstruktionen erhält man eine Verbindung, die in der Nähe der Eigenfestigkeit des Materials liegt. Titan zeigt hier niedrigere Festigkeiten, was sowohl für die statische (einmalige maximale Belastung) als auch für die dynamische (zyklische) Belastung gilt [19].

Die keramische Verblendung

Es gibt Wirobond-Varianten für alle Verblendkeramiktypen: Wirobond LFC für die niedrigschmelzenden und hochexpandierenden Keramiken [15]; Wirobond C/SG/280/C+/MI+ [11,33-35] für die konventionellen Verblendkeramiken. Bei allen Arbeiten mit Abutments ist ein direktes Verblenden oder Lötten nicht freigegeben. Denn durch die thermische Belastung käme es zur Oxidation des

Tab. 4 – Einteilung der Gießsysteme nach Art des Aufschmelzen und der Formfüllung

Aufschmelzen	Formfüllung
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> durch Flamme <input type="checkbox"/> durch Induktion <input type="checkbox"/> durch Widerstandsheizung <input type="checkbox"/> durch Elektronenstrahl 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> durch Zentrifugalkraft <input type="checkbox"/> durch Vakuum/Druck

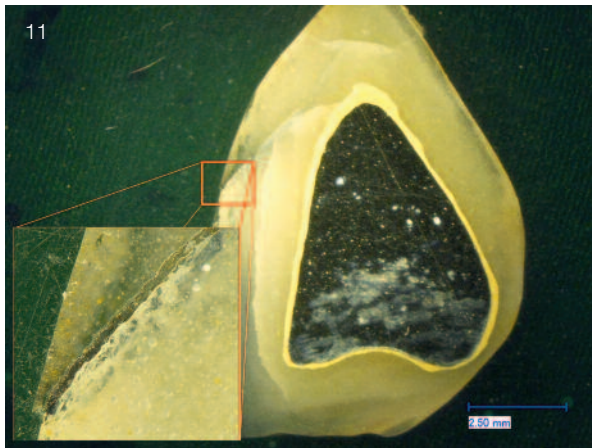


Abb. 11 Querschnitt durch ein Brückenzwischenstück einer getragenen Brücke, die Sprünge aufwies. Klinisch wies das Brückenzwischenstück halbmondformige, sichelartige Verfärbungen auf. Keiner der Sprünge reicht bis auf das Gerüst

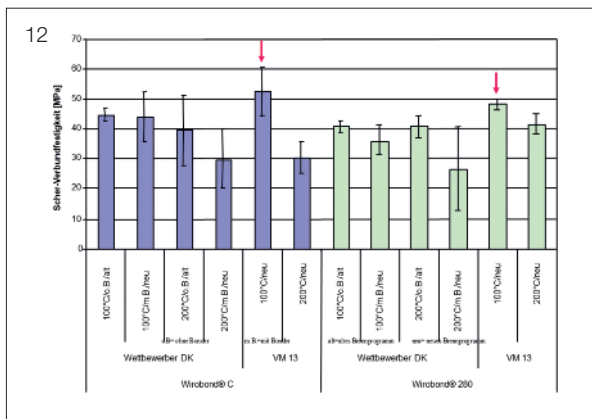


Abb. 12 Verbundfestigkeiten gemäß des Schwickerath-Versuchs von zwei EMF-Legierungen (Wirobond C und Wirobond 280) bei Variation der Temperaturprogramme. Die Erhöhung der Temperatur des Wash-Brandes ergibt die höchsten Verbundfestigkeiten

Abutments. Die entstandenen Oxide könnten nur mechanisch entfernt werden, wodurch aber die Passung verloren gehen würde.

Bei der Vorbereitung für die keramische Verblendung unterscheiden sich die verschiedenen Wirobond-Legierungen nicht. Ein Oxidbrand ist bei ihnen nicht nötig [36], da die Passivschicht, die vorwiegend aus Chromoxiden gebildet wird, ein Ankoppeln des Opakers gewährleistet. Beim Ausarbeiten zur Vorbereitung der Verblendung ist das Abstrahlen von zentraler Bedeutung [37-40]. Durch ungeeignetes Abstrahlen kann die Verbund-

festigkeit zwischen dem Metallgerüst und der Verblendkeramik ungünstig beeinflusst werden. Nicht zuletzt hängt die Benetzbarkeit der Legierungsoberfläche mit dem Keramikschlicker vom richtigen Strahlmittel und Strahldruck ab [41]. Die Strahlparameter (Korund 250 µm, 3 bis 4 bar Strahldruck) sollten eingehalten werden, um einen optimalen Metall-Keramik-Verbund zu erhalten. Dies gilt sowohl für die Gussvariante (Wirobond C [42]) als auch für die SLM-Variante (Wirobond C+ [43]).

Die Anwendung von Bondern ist nicht erforderlich, wenn Wirobond-Legierungen verwendet werden. Abgesehen von den werkstoffkundlichen Untersuchungen sprechen juristische Gründe dagegen. Da Bonder im Allgemeinen weder von den Legierungs- noch von den Keramik-Herstellern empfohlen werden, verletzt der Zahntechniker bei deren Einsatz das Medizinproduktegesetz. Im Schadensfall dreht sich die Beweislast und der Zahntechniker muss nachweisen, dass sein Vorgehen den Stand der Technik darstellt. Auf Unterstützung seitens der Legierungs- und Keramikhersteller sollte er im Fall eines Rechtsstreits lieber nicht bauen. In einer Dissertation wurde der Einfluss verschiedener Bonder in einem Langzeitversuch untersucht [44,45]. Es zeigte sich, dass bei allen untersuchten Systemen die Haftverbände sanken, was auch von EM-Legierungen bekannt ist [46]. Am Untersuchungsende gab es keine Unterschiede mehr zwischen den Haftverbänden mit und ohne Bondern. Im Gegenteil: Einige Bonder zeigten sogar niedrigere Werte. Neben der werkstoffkundlichen und juristischen Fragestellung muss auch der ökonomische Effekt kritisch hinterfragt werden. Die Bonder werden zu einem vergleichsweise hohen Preis verkauft, sodass eine Kostenersparnis, wie gelegentlich behauptet wird, nicht gegeben ist. Auch fallen eventuell zusätzliche Arbeitsschritte an. Alles in allem ist die Verwendung von Bondern werkstoffkundlich nicht nötig, juristisch zumindest zweifelhaft und letztlich auch unökonomisch.

Trotz vermeintlich richtiger Verarbeitung der Legierungen und des Keramikauftrags kommt es gelegentlich zu Misserfolgen. Besonders ärgerlich sind Spätsprünge, die bei definitiv eingesetzten Arbeiten auftreten. Hier sind manchmal

halbmondförmige, sichelartige Sprünge zu beobachten (Abb. 11). Die dunklen Verfärbungen werden meist als Korrosionsprodukte gedeutet, was jedoch nicht zutrifft. Die mikroskopischen Aufnahmen zeigen, dass es sich um Sprünge handelt, die durch das Eindringen von Speichel aufgedrückt werden und von außen nach innen verfärben. In keinem Fall erreichten die Sprünge das Metallgerüst. Daher können es keine Korrosionsprodukte sein. Es handelt sich offensichtlich um verfärbte Stoffwechselprodukte der mikrobiellen Besiedlung.

Wenn nach kritischer Betrachtung kein Verfahrensfehler [48-52] im Labor festgestellt werden kann und auch eine Keramikbeschädigung beim Herausnehmen nach einem provisorischen Tragen oder beim definitiven Einsetzen auszuschließen ist, sollten Verfahrensergänzungen in Betracht gezogen werden.

Zum einen wäre eine langsame Abkühlung nach dem Brand ratsam. Hier können zum einen Spannungen zwischen Gerüst und Verblendung moderat abgebaut werden und zum anderen manche Verblendkeramiken ihren WAK erhöhen. Durch das Halten der Temperatur für eine gewisse Zeit über 600 °C kann Kalifeldspat in Leuzit und Quarz zerfallen (inkongruentes Schmelzverhalten). Leuzit erhöht den WAK und kann dadurch eventuell ungünstige WAK-Differenzen ausgleichen.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Erhöhung der Temperaturen der Keramikbrände. Historisch bedingt wurden die Temperaturprogramme für die EM-Legierungen entwickelt. Diese zeigen eine höhere Temperaturleitfähigkeit als die EMF-Legierungen. Daher ist es eventuell günstig, bei weitspannigen und/oder großvolumigen Arbeiten die Temperaturen aller Brände um 10 bis 20 °C zu erhöhen. Eine zusätzliche/ergänzende Maßnahme kann die Erhöhung der Wash-Brand-Temperatur sein (Abb. 12). Diese kann um zirka 50 °C erhöht werden (nur beim Wash-Brand! Alle anderen Temperaturen dürfen nicht so drastisch erhöht werden, da sonst die Qualität der Verblendkeramik ungünstig beeinträchtigt wird.). Es zeigte sich in Untersuchungen, dass dies das Risiko für Spätsprünge und Risse reduzieren kann. Hier scheint auch das Wirkungsprinzip der meisten Bonder zu liegen. Sieht man sich deren Verarbei-

tung genauer an, so ist eine Abweichung die höhere Brenntemperatur beim Wash-Brand (meist bei zirka 980 °C).

Korrosionsverhalten

Sobald sich die Legierung im Mund des Patienten befindet, beginnt die Korrosion. Diese ist im Fall von Cobalt-Chrom-Legierungen im Allgemeinen sehr niedrig. Die Wirobond-Legierungen bilden hier keine Ausnahme – ganz im Gegenteil. Bei der Entwicklung von neuen Legierungen wird bei Bego neben den zahntechnischen und mechanischen Parametern besonders auf das Korrosionsverhalten geachtet. Hier wurde, lange bevor ein Langzeit-Korrosionstest Einzug in die internationale Normung hielt, über einen längeren Zeitraum gemessen. In Abweichung zur Korrosionsnorm (DIN EN ISO 10371 [53]) wird standardmäßig nicht nur nach sieben Tagen, sondern nach einem, vier, sieben, 14, 21 und 28 Tagen die Ionenabgabe bestimmt (Abb. 13). Zusätzlich werden die Korrosionsraten nach Mehrfachverguss gemessen. Im so genannten Immersions-Test [53] werden Prüfkörper hergestellt, die in eine definierte Korrosionslösung (Natriumchlorid und Milchsäure, je 0,1 mol/l mit einem pH-Wert von 2,3) getaucht werden. Anschließend wird zu bestimmten Zeitpunkten gemessen, wie viel und welche Ionen in Lösung gegangen sind. Anfänglich vergleichsweise hohe Abgaben sinken innerhalb weniger Tage auf sehr niedrige Werte. Dies ist ein günstiges Korrosionsverhalten. Exemplarisch ist dies für das Wirobond 280 dargestellt. Die Aufnahme der Elemente durch Nahrung ist im Normalfall deutlich geringer [54]. Neben der Zusammensetzung der Legierung, wobei hauptsächlich die Chrom-, aber auch die Molybdän- und Wolframgehalte zu beachten sind [23], spielt die Verarbeitung eine große Rolle. Allgemein sind die Wirobond-Legierungen nicht Überhitzungsanfällig. Hier sind die EM-Legierungen im Allgemeinen deutlich sensibler. Dies kann auch beim Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Korrosion beobachtet werden.

Die Korrosion wird auch vom Herstellungsverfahren (Guss oder SLM) maßgeblich beeinflusst. Der zahntechnische Guss erzeugt Restaurationen mit sehr niedrigen Ionenabgaben (Abb. 14), un-

abhängig davon ob die Oberflächen geschliffen wurden oder nicht. Selbst die lediglich abgestrahlten Flächen (entspricht einer ungenügenden Ausarbeitung einer Kroneninnenfläche) zeigen niedrige Ionenabgaben. Auch haben keramische Brände keinen nennenswerten Einfluss auf die Ionenabgabe (fachgerechte Verarbeitung vorausgesetzt) [55,56].

Betrachtet man nun die Ionenabgaben von Wirobond C+, eine Legierung mit identischer Zusammensetzung wie Wirobond SG, die aber mit dem SLM-Verfahren verarbeitet wird, stellt man fest, dass diese noch niedriger liegen (Abb. 15). Lediglich in den ersten vier Tagen lässt sich hauptsächlich das Cobalt nachweisen. Danach liegen die Ionenabgaben unterhalb der Nachweisgrenze der verwendeten Analysemethode. Als Grund hierfür wird diskutiert, dass das Gefüge feiner und homogener ist. Außerdem findet der SLM-Prozess in einer Inertgasatmosphäre statt. Somit wird die Legierung nicht oxidiert. Aber auch die Pulver für den SLM-Prozess werden unter Inertgas hergestellt. Im Gegensatz dazu steht der Dentalguss. Hier wird die Legierung im offenen Stranggussverfahren hergestellt. Der Zahntechniker gießt in einer noch vergleichsweise viel Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre. Die Ionenabgabe in der Korrosionslösung setzt sich aus zwei Mechanismen zusammen:

- bereits gebildete Ionen lösen sich
- es kommt zu einer elektrochemischen Reaktion (= Korrosion), wodurch die Legierung oxidiert wird. Die dabei entstandenen Ionen können dann in Lösung gehen.

Die Ionenabgabe setzt sich daher aus dem Lösen bereits gebildeter Oxide und denen die durch Korrosionsprozesse gebildet wurden zusammen. Diese Ionen lassen sich naturgemäß in der Korrosionslösung nicht mehr unterscheiden. Hohe Chrom- und Molybdängehalte sorgen auch in sauerstoffarmen Gebieten mit erniedrigtem pH-Wert dafür, dass die Korrosion auf einem sehr niedrigen Niveau stattfindet [57,58]. Neben der Erhaltung der Passivierung kommt es zu einer zusätzlichen Verlangsamung der Reaktion, da alle Legierungsbestandteile schwerlösliche Phosphate bilden [59]. Die eben geschilderte Situation ist ty-

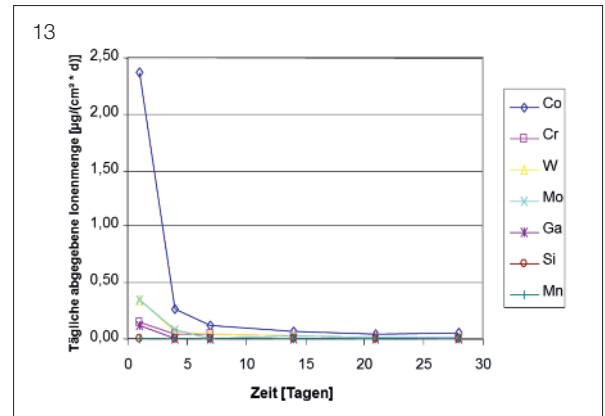


Abb. 13 Tägliche Ionenabgabe von Wirobond 280 im Immersionstest gemäß ISO 10271 (abweichend von der Norm wurde nicht nur nach sieben Tagen, sondern nach einem, vier, sieben, 14, 21 und 28 Tagen gemessen). Dargestellt sind die täglichen Ionenabgaben der Legierungsbestandteile

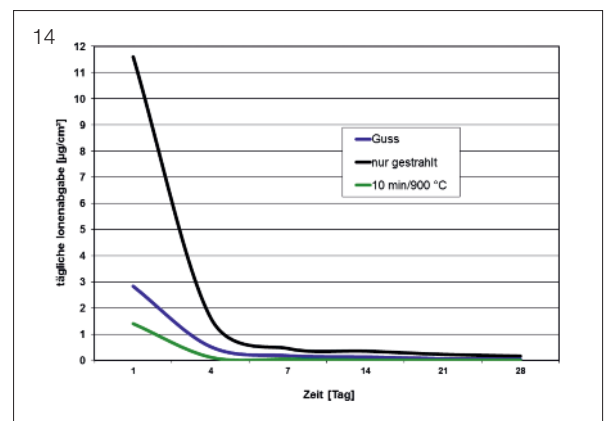


Abb. 14 Ionenabgaben von Wirobond SG im Immersionstest. Gemessen wurden Prüfkörper, die nach dem Guss beziehungsweise simuliertem keramischen Brand mit Siliziumcarbidpapier (Körnung 1200) geschliffen wurden. Bei der Serie „nur gestrahlt“ handelt es sich um Prüfkörper, die nach dem Ausbetten nur mit Korund (Korox 250/Bego, 250 µm mit 3 bar) gestrahlt wurden

pisch für die Kroneninnenseite. Hier wird die Krone meist mit Zinkphosphat-Zement befestigt. Dies führt zu einer Verringerung des pH-Werts. Auch besteht kein direkter Kontakt zur Mundhöhle, was zu einer Reduktion des Sauerstoffgehalts führt. Die eigenen Untersuchungen bestätigen die von Palaghias [60]. Eine Möglichkeit, die Korrosion (sehr grob) im Voraus zu bestimmen, ist der so genannte „Pitting resistance index“ (PRI),

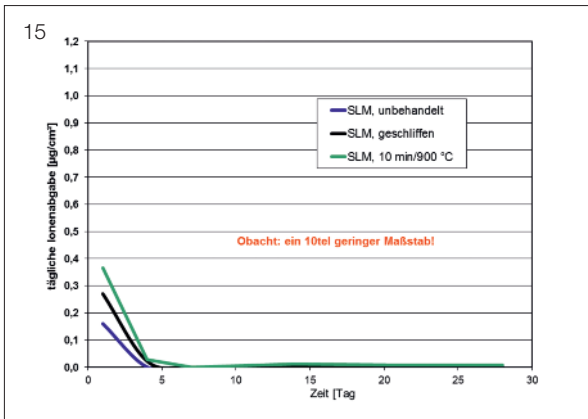


Abb. 15 Ionenabgaben von Wirobond C+ im Immersionstest: gemessen wurden Prüfkörper, die direkt nach dem SLM-Verfahren ohne weitere Oberflächenbehandlung in den Test gegeben wurden beziehungsweise mit geschliffenen (Siliziumcarbidpapier, Körnung 1200) Oberflächen mit und ohne simuliertem keramischem Brand. Im Vergleich zur vorherigen Abbildung ist der Maßstab reduziert

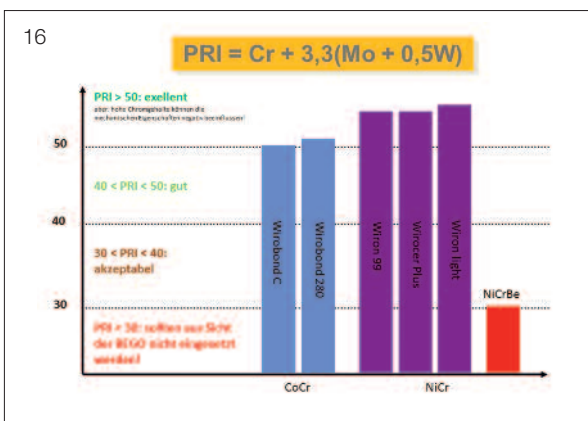


Abb. 16 Der PRI (pitting resistance index) beschreibt die Abhängigkeit des Korrosionsverhaltens von der Zusammensetzung. Die Einteilung wurde vom Autor gewählt und ist unter anderem durch den Abgleich mit vorliegenden Ergebnissen des Immersionstests gemäß ISO 10271 [53] begründet

auch als Wirksumme bezeichnet (Abb. 16). Hier wird die Summe aus Chrom, Molybdän und Wolfram (mit verschiedenen Faktoren beaufschlagt) gebildet. Je höher der PRI-Wert ist, desto höher ist die Korrosionsresistenz. Ursprünglich kommt diese Formel aus der Stahlindustrie. Sie kann jedoch näherungsweise auch für die EMF-Legierungen angewandt werden. Zur besseren Übersicht können Bereiche definiert werden, so ge-

schehen vom Autor dieses Artikel (vgl. Abb. 16). PRI-Werte oberhalb von „50“ sind zwar rechnerisch leicht zu erreichen, allerdings wird hier die Sprödigkeit der Legierung sehr schnell zu hoch. Dies gilt besonders für Cobalt-Chrom-Legierungen. Auch wird durch zu hohe Gehalte an Chrom, Molybdän und/oder Wolfram der WAK ungünstig beeinflusst. Daher muss ein Kompromiss zwischen den mechanischen Werten und der Korrosion gefunden werden.

Eine weitere Möglichkeit, das Korrosionsverhalten zum Beispiel im Dentallabor zu prüfen, ist die Abwandlung des „richtigen“ Immersionstests. Die Korrosionslösung ist sehr leicht herzustellen. Dazu werden 5,4 g Natriumchlorid (= Kochsalz) und zirka 11 ml Milchsäure in 1 l Wasser gelöst (Vorsicht, die Lösung ist mit einem pH-Wert von 2,3 ätzend). Danach werden beliebige (aber vergleichbare) Prüfkörper in die Korrosionslösung gegeben. Hier sollte man darauf achten, dass nicht zu viel Korrosionslösung verwendet wird, da sonst aufgrund der hohen Verdünnung kein Effekt beobachtet werden kann. Je schneller und intensiver nun eine Verfärbung der Lösung und/oder eine Veränderung (zum Beispiel Verfärbung, Aufrauung und so weiter) der Prüfkörper-Oberfläche stattfindet, desto höher ist die Ionenabgabe. In der Regel sollte nach zwei Wochen – wenn überhaupt – nur eine sehr leichte Verfärbung eintreten. Wirobond-Legierungen zeigen in allen durchgeführten Untersuchungen ein gutes Korrosionsverhalten [5,61-71]. Damit ist der Grundstock für eine günstige Biokompatibilität gelegt (Abb. 17).

Biokompatibilität

Cobalt-Chrom-Legierungen werden schon seit Jahrzehnten in der zahnärztlichen Prothetik verwendet [72] und haben sich klinisch bewährt. Es gibt zwar in vitro-Versuche, die eine gewisse Zytotoxizität (Zellgiftigkeit) zeigen [73-76], aber in der Praxis wurden unerwünschte Nebenwirkungen sehr selten beobachtet. Der Grund hierfür sind die verschärften Bedingungen, wie sie in einem in vitro-Test herrschen.

Abgesehen von Wolfram und Gallium werden in Wirobond-Legierungen nur so genannte essentielle Elemente ver-

wendet. Darunter versteht man Elemente, die der Körper zur Aufrechterhaltung von Körperfunktionen benötigt. So ist Cobalt das Zentralatom für das lebenswichtige Vitamin B 12, Eisen ist der zentrale Baustein für das Hämoglobin, Chrom und Molybdän werden in Mitochondrien benötigt und so weiter [77,78]. Der Körper ist in der Lage diese Metalle zu handhaben. Dies gilt natürlich nur bis zu einer bestimmten Konzentration. Die Grenzwerte für toxische und/oder allergische Reaktionen schwanken sehr stark und über einen großen Bereich – von Individuum zu Individuum. Allergien gegenüber Cobalt-Chrom-Legierungen sind möglich, aber sehr selten [79]. Sehr wohl gibt es Allergien gegenüber einzelnen Bestandteilen wie Cobalt [80-82], Chrom [80,83,84] oder Molybdän [85,86], jedoch müssen sich diese nicht in der Mundhöhle manifestieren. In der Mundhöhle liegen diese Elemente nicht isoliert vor, sondern in Form einer Legierung, die sich anders verhält als die elementaren Metalle. Nichts desto trotz sollte man einem Patienten bei dem eine Allergie gegenüber einem Legierungsbestandteil bekannt ist, die entsprechende Legierung nicht einsetzen.

Nickel wird besonders im deutschsprachigen und skandinavischen Raum als sehr gefährlich angesehen. Der Grund hierfür ist das allergene Potenzial dieses Metalls. Gelegentlich wird in den Medien behauptet, dass Cobalt-Chrom-Legierungen Nickel enthalten. Dies ist so nicht richtig. Die Herstellung der Wirobond-Legierungen geschieht mit ausgesuchten Rohstoffen. Bego garantiert einen Nickelgehalt von unter 0,1 Prozent in all seinen „nickelfreien“ Legierungen, aber auch für die EM-Legierungen. Eine Forderung von „0“ Atomen Nickel in den Legierungen kommt einem Berufsverzicht gleich, da eine „vollkommene“ Nickelfreiheit technisch nicht möglich ist. Nickel ist in der Natur, in den Erzen, mit Cobalt vergesellschaftet und kann nicht zu 100 Prozent abgetrennt werden. Das gilt auch für alle anderen Metalle. So sind auch Edelmetalle natürlicherweise mit Nickel verunreinigt. Der natürliche Gehalt an Nickel in Gold liegt im unteren ppm-Bereich (ppm = parts per million/1 ppm, ist daher ein Teilchen auf eine Million anderer). Die Aussage, dass ein Ni-

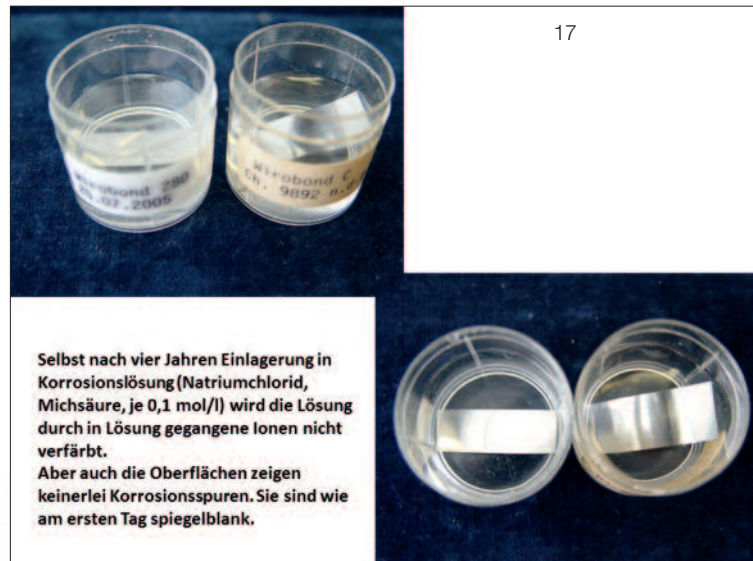
ckelatom zur Auslösung einer Allergie ausreicht, wird damit ad absurdum geführt. Berechnet man die Anzahl der Nickelatome in einem Galvanogerüst (angenommenes Gewicht ein Gramm), so würde dieses 1015 Atome Nickel enthalten. Daher können Wirobond-Legierungen auch für Nickelallergiker verwendet werden, vorausgesetzt, dass es keine Allergien gegenüber den Legierungsbestandteilen gibt.

Das Sensibilisierungspotential der Wirobond-Legierungen wurde von einem neutralen Forschungsinstitut bestimmt und als äußerst gering eingestuft (Abb. 18). Bislang liegen auch keine Meldungen über unerwünschte Nebenwirkungen einer Wirobond-Legierung beim BfArM (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte) vor – und dies trotz millionenfacher Anwendung allein in Deutschland seit 30 Jahren. Für die Modellguss-Legierungen liegen sogar noch längere Erfahrungen vor. So wird die Legierung „Wironit“ seit 1953 in unveränderter Rezeptur ohne klinische Vorkommnisse vertrieben.

Während die niedrigen Korrosionsraten eine systemische Toxizität (Wirkung setzt entfernt von der Restauration ein) unwahrscheinlich machen, kann eine unsachgemäße Verarbeitung zur örtlich und zeitlich begrenzten Erhöhung von Korrosionsraten führen. Dadurch können lokal und in der unmittelbaren Nähe der Restauration toxische Reaktionen eintreten, wie zum Beispiel Entzündungen (lokale Toxizität). Als Maß hierfür kann der Zytotoxizitäts-Test herangezogen werden. In klinischen Untersuchungen zeigte weder gegossenes [87] noch per SLM verarbeitetes [88,89] Wirobond irgendwelche unerwünschten negativen biologischen Eigenschaften.

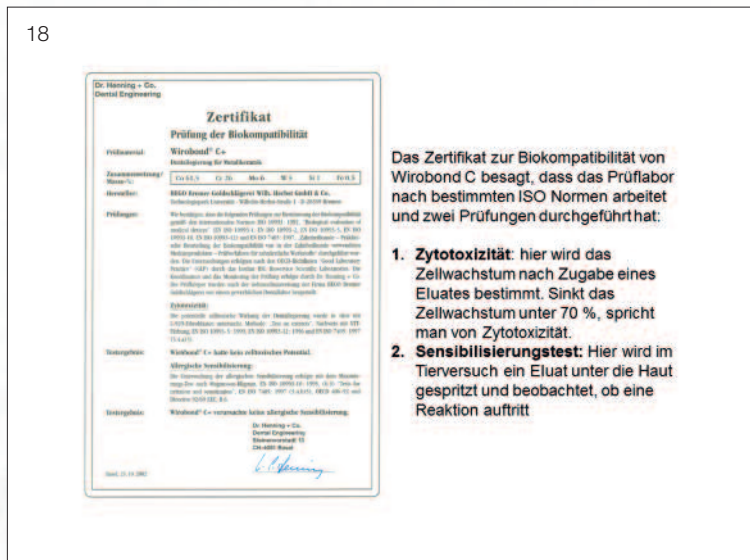
Fazit

Wirobond hat sich als starker Markenartikel in der Zahntechnik weltweit etabliert. Die Legierungen werden derzeit sowohl mittels konventionellem zahntechnischen Guss als auch mithilfe moderner



Selbst nach vier Jahren Einlagerung in Korrosionslösung (Natriumchlorid, Michsäure, je 0,1 mol/l) wird die Lösung durch in Lösung gegangene Ionen nicht verfärbt. Aber auch die Oberflächen zeigen keinerlei Korrosionsspuren. Sie sind wie am ersten Tag spiegelblank.

Abb. 17 Auch die mehr als vierjährige Lagerung von Prüfkörpern in Korrosionslösung (gemäß DIN EN ISO 10271 [53]) vermag Wirobond 280 und Wirobond C nicht nennenswert anzugreifen



Das Zertifikat zur Biokompatibilität von Wirobond C besagt, dass das Prüflabor nach bestimmten ISO Normen arbeitet und zwei Prüfungen durchgeführt hat:

1. **Zytotoxizität:** hier wird das Zellwachstum nach Zugabe eines Eluates bestimmt. Sinkt das Zellwachstum unter 70 %, spricht man von Zytotoxizität.
2. **Sensibilisierungstest:** Hier wird im Tierversuch ein Eluat unter die Haut gespritzt und beobachtet, ob eine Reaktion auftritt

Abb. 18 Beispiel für ein Biozertifikat. Hier werden geringe Risiken für den Patienten bescheinigt

CAD/CAM-Verfahren durch Fräsen oder SLM verarbeitet. Wirobond C+ war die erste Dental-Legierung die via SLM-Verfahren verarbeitet wurde. Mit den Legierungen „Wirobond LFC“ und „Wirobond 280“ wurden weitere Meilensteine in der Zahntechnik gesetzt. Durch die verschiedenen Varianten und Produkti-

onsprozesse können mit den Wirobond-Legierungen alle prothetischen Indikationen abgedeckt werden. Die werkstoffkundlichen Eigenschaften sind über alle Zweifel erhaben und wurden in zahlreichen Publikationen beschrieben. Die Legierungen haben sich millionenfach klinisch bewährt.