

# Metallische Fügetechniken – eine Übersicht

Ein Beitrag von Joachim Mosch<sup>1</sup>, Ztm. Andreas Hoffmann<sup>2</sup> und Dr. Michael Hopp<sup>3</sup>

Dieser Beitrag ist der Anfang einer Serie über zahntechnische Fügetechniken (vor allem Schweißtechniken), in deren Verlauf wichtige Grundlagen des Schweißens sowie theoretische Aspekte vieler verschiedener praktischer Anwendungsbeispiele beschrieben werden. Die Anwendungsbeispiele behandeln die Kronen- und Brückentechnik, Neuanfertigungen und Reparaturen von CoCr-Teilprothesen, implantatgetragene Stege, das Verschließen von Löchern in Kronen, das Verlängern von Kronenrändern, das Wiederherstellen von okklusalen und approximalen Kontaktpunkten usw.

Indizes: Dentallegierungen, Fügetechnik, Laserschweißen, Lichtbogenschweißen, Löten, Metalle, phaser mx1, Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)

## Methoden und Voraussetzungen zur Verbindung von Legierungen

Im Allgemeinen werden Werkstücke aus Legierungen oder Metallen in der Zahntechnik durch verschiedene thermische Verbindungsmethoden gefügt. Solche Methoden umfassen

- das Löten
  - mit der offenen Flamme (verschiedene brennbare Gase gemischt mit Druckluft oder Sauerstoff)
  - Ofenlöten (Keramikofen)
  - Infrarot-(IR)-Löten
- Widerstandsschweißen (Punktschweißen)
- Mikroplasmenschweißen (Schweißbrenner)
- Laserschweißen (Nd:YAG-Lasergeräte)
- Monoimpuls-Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) durch Anwendung des primotec phaser mx1

Das gemeinsame Ziel dieser verschiedenen Methoden besteht darin, eine Vermischung der Atome, sei es der miteinander zu verbindenden Teile und/oder der zugeführten Materialien wie Lote oder Schweißstäbe, zu erreichen.

Je nach den Werkstücken, die zusammengefügt werden sollen, kann man zwischen drei allgemeinen Anwendungsfällen unterscheiden:

- Verbindung identischer Metalle/Legierungen (artrein), z.B. Titan mit Titan (bei Implantatstrukturen)
- Verbindung artgleicher Metalle/Legierungen, z.B. AuPt mit AuAgCu (bei Geschiebearbeiten)
- Verbindung verschiedener Metalle/Legierungen, z.B. AuPt mit CoCr („Gold“-Kronen mit Modellguss-Gerüsten, ausgeführt als Hybridschweißung)

Die gemeinsame Anforderung, die von all diesen Verbindungsmethoden (Löten/Schweißen) in allen Fällen erfüllt werden muss, ist eine Verbindungsstabilität von mindestens 350 MPa (in Übereinstimmung mit der Norm DIN EN 29333). Außerdem muss die Metallstruktur frei von jeglichen Makrodefekten, stabil und korrosionsbeständig sein. In der zahnheilkundlichen Literatur werden die verschiedenen Methoden im Licht der von der DIN-Norm gestellten Anforderungen diskutiert, mit einer klaren Tendenz zugunsten der Schweißtechniken.

<sup>1</sup>Joachim Mosch, Zt.,  
GF Fa. primotec,  
Tannenwaldallee 4,  
61348 Bad Homburg,  
Deutschland

<sup>2</sup>Ztm. Andreas  
Hoffmann, GF 1. DSZ,  
Ludwig-Erhard-Str. 7,  
37434  
Gieboldehausen,  
Deutschland

<sup>3</sup>Dr. Michael Hopp,  
Ernst-Moritz-Arndt-  
Universität Greifswald,  
Zentrum für Zahn-,  
Mund- und Kiefer-  
heilkunde, Abteilung für  
Zahnärztliche Prothetik  
und Werkstoffkunde  
Direktor: Prof. Dr.  
Reiner Biffar,  
Rotgerberstraße 8,  
17489 Greifswald,  
Deutschland

Kategorie	Mögliche Zusammensetzung	Anwendung unter anderem bei	Korrosionsbeständigkeit	Klinische Beurteilung
Silberlote	AgCuZn	Kieferorthopädische Drähte und Vorrichtungen	sehr gering	nicht akzeptabel
Goldlote	AuAgZn, mit ca. 75 % Au und bis zu 15 % Zn. Weitere: Sn, Cu, In	Objekte aus Gold-, Silber- und Palladiumlegierungen, edelmetallfreie Legierungen	moderat	begrenzt akzeptabel
Universallote	AuNiZn, ca. 75 % Au, 12-18 % Ni und Zn	Objekte aus Gold-, Silber- und Palladiumlegierungen, edelmetallfreie Legierungen	moderat	akzeptabel
	AuCdZn, ca. 75 % Au, 12-15 % Cd und Zn		moderat	nicht akzeptabel
weiße Goldlote	AuPtAg	Objekte aus Gold- und Palladiumlegierungen mit hohem Schmelzpunkt, edelmetallfreie Legierungen	moderat	begrenzt akzeptabel
Lote für edelmetallfreie Legierungen	Co70Cr13Mo5Si5BF <sub>4</sub>	CoCr-Legierungen	gut	akzeptabel, aber schwer zu verarbeiten, hohe Arbeitstemperatur
	Ni66Cr19Mo6Si4B1Fe <sub>4</sub>	NiCr-Legierungen	gut	
Titanlote	TiPdCu	reines Titan und Titanlegierungen	schlecht	nicht akzeptabel, schwer zu verarbeiten, hohe Arbeitstemperatur, in der Zahntechnik nicht verwendet

Tab. 1  
Verschiedene Arten von metallischen Loten im Anwendungsbe-  
reich der Zahn-  
heilkunde

### Vom Löten zum (Laser-/Phaser-)Schweißen

In der Tat kann diese Entwicklung als einer der größten Fortschritte in der Dentaltechnologie der letzten 15 Jahre angesehen werden. Um diese Aussage belegen zu können, müssen an erster Stelle die wichtigsten Unterschiede zwischen Schweißen und Löten analysiert werden. In erster Linie sind diese Unterschiede hinsichtlich der Biokompatibilität und der Produktivität zu finden.

**1. Biokompatibilität:** Um gegossene Werkstücke aus Dentallegierungen miteinander zu verbinden, benötigt man eine „zweite“ oder „dritte“ Legierung mit niedrigem Schmelzbereich (Lot). Der Schmelzpunkt oder -bereich des Lotes muss niedriger sein als der Soliduspunkt der zu lötenden Legierung, weil sich die zu verbindenden Werkstücke sonst während des Lötens deformieren und schmelzen würden (Löten mit der Flamme). Um den Schmelzbereich des Lotes zu senken, werden Stoffe mit niedrigem Schmelzpunkt wie Kadmium, Zink, Nickel und Kupfer der „Lotlegierung“ beigemischt. Universelle Goldlotlegierungen enthalten etwa 75 Prozent Gold, 12 bis 18 Prozent Nickel und Zink. Tabelle 1 enthält einen Überblick. Die Korrosions-

beständigkeit dieser Materialien ist jedoch fraglich und in vielen Fällen lösen sie sich einfach konstant im oralen Milieu auf. Die gelösten Metallionen können sich in den Organen absetzen (Nieren, Leber etc.), oder zu allergischen Reaktionen (zum Beispiel Nickel) und anderen Gesundheitsschäden für den Patienten führen. Die Korrosion an gelöteten Teilen aus CoCr, die sich schon einige Zeit in situ befanden, ist leicht zu erkennen, wenn solche Teile zur Reparatur zurück ins Labor kommen. Die gelöteten Bereiche, die einst homogen und glänzend waren, erscheinen jetzt stumpf (meistens auch farblos) und porös, was ein klarer Beweis für Korrosion ist (Abb. 1 und 2). Außerdem ist die mechanische Stabilität von gelöteten Verbindungen oft fraglich (Abb. 3 und 4).

Die Farbe der normalerweise verwendeten Lote erstreckt sich von Gelb bis Hellgelb für Legierungen mit hohem Goldanteil sowie Variationen von Silberweiß für Lote aus AuPdAg-, NiCr- und CoCr. Es ist sehr selten, dass die Farbe des Lotes mit der Farbe der gelöteten Legierung übereinstimmt. Demzufolge ist der gelötete Bereich schon sichtbar, bevor die Versorgung zum ersten Mal in den Mund des Patienten gelangt.

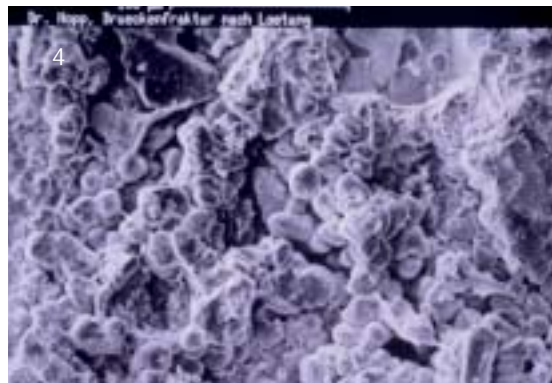
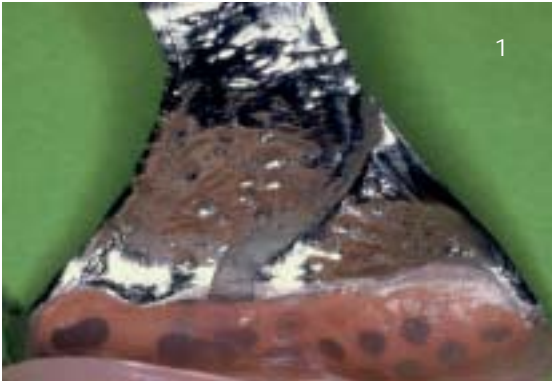


Abb. 1  
Eine stumpfe, grau verfärbte und porös erscheinende Lötverbindung an einer CoCr-Teilprothese, die etwa ein Jahr lang in situ gewesen war.

Abb. 2  
Je nach den verwendeten Lötten kann die Korrosion an kieferorthopädischen Apparaturen verschiedene Verfärbungen zeigen.

Abb. 3  
Eine an der Lötstelle gebrochene Brücke

Abb. 4  
REM-Bild der gebrochenen Lötverbindung aus Abbildung 3, welche die dendritische Struktur mit Defekten in der Lötnaht zeigt.

Im Vergleich zum Löten braucht man beim Schweißen keine weitere Legierung mit niedrigem Schmelzbereich (Lote), um zwei Werkstücke miteinander zu verbinden. Das zum Schweißen verwendete Material hat stets die gleiche Zusammensetzung und die gleiche Farbe wie die zu schweißende Legierung. So gibt es selten Legierungsbestandteile mit niedrigem Schmelzpunkt, die korrodieren könnten, und die Schweißstelle hat eine vergleichbare Korrosionsbeständigkeit wie die ursprüngliche Gusslegierung. Verglichen mit einem gelöteten Teil, das zur Reparatur ins Labor zurückkommt, wird ein geschweißtes Teil an der Schweißstelle genauso glänzend und homogen aussehen wie im Neuzustand. So führt Schweißen anstelle von Löten zu einer Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und folglich auch der Biokompatibilität einer Restauration.

**Übersicht** über Aussagen und Beobachtungen im Zusammenhang mit Löt- und Schweißverfahren in zahnheilkundlichen Publikationen:

- *Wiskott et al.* [25] fanden eine vergleichbare Zugfestigkeit beim Löten von Goldlegierungen mit Lötbrenner oder mit Infrarot, während die Zugfestigkeit bedeutend größer ausfiel, wenn die gleichen Goldlegierungen lasergeschweißt wurden.
- Beim Vergleich von gelöteten und lasergeschweißten Verbindungen zwischen verschiedenen Metallen wie AuPt und CoCr, beobachteten *Kassenbacher* und *Dielert* eine weit größere mechanische Stabilität als bei herkömmlichen gelöteten Verbindungen.

□ *Staffanou et al.* [20] beurteilen die Verbindung von verschiedenen keramischen Legierungen durch Löten als technisch kompliziert und beobachteten in diesem Kontext geringwertigere Materialdaten.

□ Besonders das Ofenlöten kann problematisch sein. *Sloan et al.* [17] sehen im Lötmaterial selbst, in der geringen (Nach-)Löttemperatur und in der Verwendung von Flussmittel kritische Faktoren. Die glasigen Rückstände des Flussmittels auf der Oberfläche der Restauration, mit Anteilen von reduzierten oder gelösten Oxiden, kann die weiteren Arbeitsschritte, wie Keramikverblendung, negativ beeinflussen und die Korrosionsbeständigkeit verringern.

□ Fehlende Homogenität im Material und ernste Störungen der Kornstruktur in gelöteten Bereichen wurden von *Preston* und *Reisbick* [15] festgestellt. Dennoch war die gemessene Stabilität mehr oder weniger identisch, ganz gleich welche Gasmischungen verwendet worden waren.

□ Beim Löten von CoCr-Gerüsten erreichten CoCr-Lote akzeptable mechanische Werte [9]. Selbst wenn der Arbeitsvorgang schwieriger ist, können damit Werte erzielt werden, die mit dem Originalmaterial vergleichbar sind.

□ *Angelini et al.* [1] untersuchten den Einfluss von korrosiven Lösungen auf CoCr-Legierungen, die mit Universalgoldlötten (Typ: AuNiZn) und CoCr-Löten gelötet worden waren. Nach einer simulierten Korrosion in Ringer-Lösung und künstlichem Speichel reduzierte sich die Zugfestigkeit der Proben



Abb. 5  
Abgebrochene  
Sekundärkronen,  
die wieder an die  
CoCr-Teilprothese  
angeschweißt wur-  
den ohne den rosa-  
farbenen Kunststoff  
oder die Verblen-  
dungen entfernen  
zu müssen.

um mehr als 50 Prozent, wenn Universalgoldlote verwendet worden waren. Diese Wirkung verringerte sich jedoch sehr bei Verwendung von CoCr-Loten.

□ *Hruska und Borelli* [10] beschrieben das Löten von Titan im Dentallabor, wie auch das intraorale Widerstandsschweißen. Beide Methoden zeigten keinerlei Erfolge, wegen ihrer schlechten Ergebnisse und der sehr schwierigen Handhabung.

**2. Produktivität:** Aufgrund der Notwendigkeit, das ganze Gerüst mit dem Lötbrenner (Flamme) zu erhitzen, benötigt man für das Löten einen Lötblock oder ein Lötmodell. Die zu lötenden Teile müssen zuerst auf dem Meistermodell mit einem kalthärtenden Autopolymerisat miteinander verbunden werden, erst danach wird das Lötmodell hergestellt. Das ist sehr zeitaufwendig und wird durch die Wartezeiten zusätzlich verzögert. Außerdem müssen bei der Reparatur von Kronen und Brückenteilen, die mit Verblendungen aus Kunststoff oder Keramik versehen sind, oder bei CoCr-Teilprothesen mit Zähnen und Sätteln aus Kunststoff, alle diese Materialien (Kunststoff, Keramik, Zähne) vor dem Löten des Gerüsts entfernt und danach wieder ergänzt werden.

Im Gegensatz dazu erfolgt das Schweißen mit Laser/Phaser direkt auf dem Meistermodell, weil die von der Hitze des Schweißvorgangs betroffene Zone strikt auf den Bereich begrenzt bleibt, der sich direkt um die Schweißstelle erstreckt. Es ist kein Lötmodell erforderlich und wenn direkt neben Teilen aus Kunststoff oder Keramik geschweißt werden muss, braucht das Gerüst nicht zerlegt werden (Abb. 5). Diese Tatsachen können zu einer Steigerung der Produktivität um bis zu 80 Prozent führen.

Trotzdem sind nicht alle Schweißverfahren gleich effizient. Das herkömmliche elektrische Punktschweißen hat sich als lohnend bei der Verbindung von Drähten erwiesen, zeigt aber eine reduzierte Effizienz bei der Anfertigung von Reparaturen [2]. Auch ist dieses Verfahren nicht für alle Legierungen und Nahtschweißungen anwendbar. Als zum Beispiel die Verwendung von Titan und titanhaltigen Drähten in der Kieferorthopädie eingeführt wurde, stellte sich die Frage, wie man diese Elemente verbinden konnte, ohne dabei das Titan durch massive Oxidation während der Erhitzungsphase zu zerstören.

### Die Notwendigkeit der Verwendung von Schweißgeräten

Abgesehen von den bereits erwähnten wünschenswerten Vorteilen des Schweißens (Biokompatibilität und Produktivität) entstand die wahre Notwendigkeit für den Gebrauch von Schweißgeräten in den frühen 90er Jahren, als der Titanguss in der Dentaltechnologie eingeführt wurde. Die Vorteile des Laserschweißens im Dentallabor, vor allem auch in Bezug auf die zeitsparenden Eigenschaften dieses Verfahrens, waren bereits in den 70er Jahren von *Gordon und Smith* [8] erkannt worden. Da Titan beim Erhitzen ein hoch reaktives Metall ist, war hierfür ein Verbindungsverfahren erforderlich, das mit einem Schutzgas (Argon) funktioniert, um eine Reaktion mit Sauerstoff, Stickstoff und anderen Gasen während des Verbindungsprozesses zu vermeiden, die dazu führt, dass das Titan sich verfärbt, extrem hart, brüchig und somit wertlos wird. Laserschweißgeräte, wie auch der primotec phaser mx1, arbeiten mit Argon (4,6 oder höher = 99,996 Prozent Reinheit) als Schutzgas, was das Schweißen von Titan ohne jegliche negativen chemischen Reaktionen während des Schweißvorgangs ermöglicht. Dies beschränkt sich nicht nur auf gegossenes Titan. Auch das Schweißen von vorgeformten Titanelementen ist möglich geworden. *Jemp et al.* [12] haben bestätigt, dass lasergeschweißte Aufbauten auf Titanimplantaten, bei denen vorgefertigte Abutments und Stege zur Anwendung kommen, in ihren Stabilitätsresultaten sehr wohl mit gegossenen Strukturen verglichen werden können. Da sich die Titangussysteme, ebenso wie auch die vorgeformten Abutments, im dentalen Bereich zu verbreiten begannen, erhöhte sich auch die Zahl der Laserschweißgeräte und es wurde offensichtlich, dass diese Art des Schweißens Vorteile bietet, und zwar nicht nur für Titan, sondern auch für alle anderen Dentallegierungen. Das Ergebnis hiervon war, dass die Nachfrage für dentale Schweißgeräte sogar bei solchen Labors anstieg, die gar kein Titan gossen. Zusätzliche Vorteile des Schweißens gegenüber dem Löten:



Abb. 6 Perfekt sitzende Brücke nach dem Trennen und Verschweißen



Abb. 7 Anschweißen eines neuen Klammerarmes an eine Teilprothese ohne die Kunststoffarmierung zu entfernen

□ Die dem Stand der Technik entsprechend geschweißten Verbindungen sind im Allgemeinen genauso stabil wie die ursprünglich gegossene Legierung, wohingegen eine gelötete Verbindung erheblich schwächer ist als das ursprünglich gegossene Material.

□ Korrekt geschweißte Verbindungen führen zu einer hohen Passgenauigkeit (Abb. 6).

□ Schweißen kann die Korrosionsbeständigkeit des Gerüsts erheblich steigern.

□ Die Wärmeeinflusszone ist strikt und kontrollierbar auf den zu verschweißenden Bereich begrenzt, was das Schweißen direkt neben Kunststoff oder Keramik ermöglicht (Abb. 7).

□ Verschiedene Arten von Legierungskombinationen, wie zum Beispiel Legierungen mit hohem Goldgehalt und Kobalt-Chrom-Legierungen, können noch einfacher zusammengeschweißt werden, wenn sie zusätzlich mechanisch gestützt werden (Abb. 8).

□ Keine zeitaufwendigen Vorbereitungen vor, oder Korrekturen nach dem Schweißvorgang sind erforderlich, wodurch sich die Zeit pro Werkstück um bis zu 80 Prozent verringern lässt.

□ Die Anzahl verschiedener Elemente und Legierungen im Mund des Patienten reduziert sich, da beim Schweißen die gleiche Legierung verwendet wird und kein zusätzliches Lot.

□ Titan lässt sich leicht schweißen, wogegen das Löten von Titan im zahnheilkundlichen Bereich nicht möglich ist.

□ Das Schweißen erfolgt direkt auf dem Meistermodell (Abb. 9).

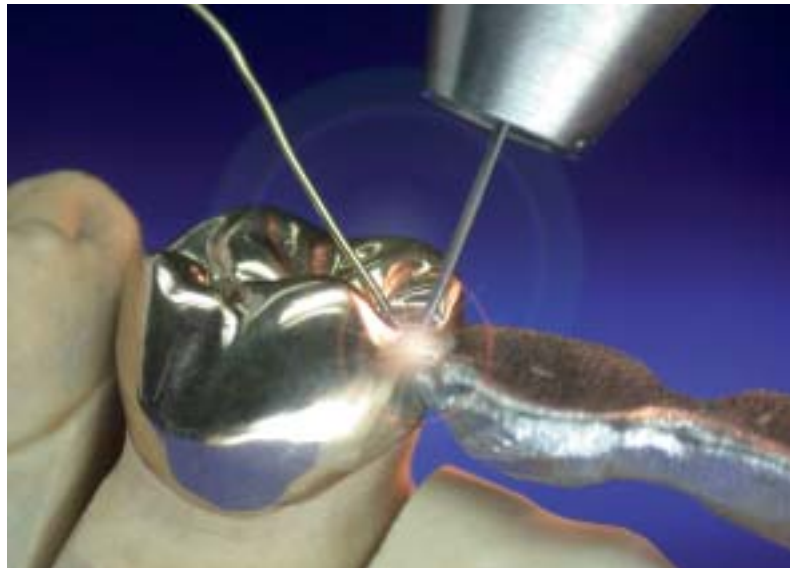


Abb. 8 Nicht edelmetallhaltige Aufbrennlegierung, angeschweißt an eine hochgoldhaltige Vollgusskrone unter Anwendung des „Legostein“-Prinzips (welches in einem der folgenden Artikel erklärt werden soll)

## Verschiedene Arten von Schweißgeräten für Dentallabore

**1. Plasma- und Laserschweißgeräte:** Ursprünglich, in den 80er Jahren, waren nur die so genannten Plasmaschweißgeräte, neben wenigen Haas-Lasergeschweißgeräten, in der Dentaltechnologie bekannt. Der einzige Vorteil dieser Art von Schweißgerät gegenüber dem herkömmlichen Löten war die Tatsache, dass die Plasmaschweißgeräte mit einem Schutzgas (Argon) arbeiteten, welches die Oxidation des geschweißten Bereichs verhinderte. Taylor et al. [21] untersuchten die Wirkung der so gestalteten Verbindung auf die Zugfestigkeit bei plasmageschweißten gegossenen Ti6Al4V-Legierungen. Sie beobachteten keine signifikanten Unterschiede in der Zugfestigkeit bei Fugendicken zwischen 0,25 mm und 1,00 mm, wodurch bewiesen wurde, dass diese Art von Schweißverfahren das Zusammenfügen von Titan und seinen Legierungen aufgrund des verwendeten Schutzgases ermöglichte. Doch die Regelung der Flamme und der Hitzeent-



Abb. 9  
Gussfehlerbehafteter sublingualer Bügel. Das fehlende Teil wurde angesetzt und direkt auf dem Meistermodell verschweißt.

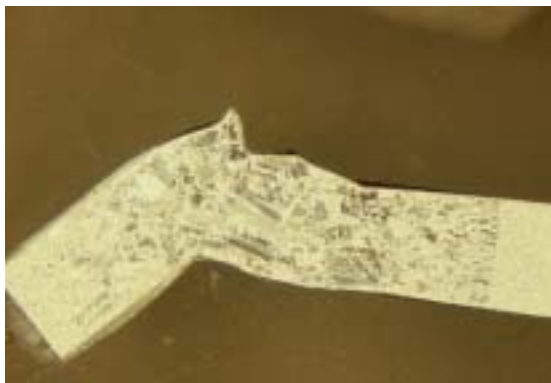


Abb. 10  
Grobe Kornstruktur in der Wärmeinflusszone bei plasmageschweißtem Titan

wicklung war bei diesen Apparaten noch sehr grob und ein detailliertes Arbeiten war selbst für erfahrene Techniker eher schwierig. Die Wärmeinflusszone war bei diesen Plasmaschweißgeräten mit der eines Lötbrenners vergleichbar (Abb. 10).

Infolgedessen war das Schweißen nicht möglich, bevor nicht alle empfindlichen Teile, wie zum Beispiel Kunststoff, von einem Gerüst entfernt waren. Und selbst wenn man mit den Plasmaschweißgeräten von den Biokompatibilitätsvorteilen des Schweißens profitieren konnte, so blieb die Produktivität auf dem gleichen Stand wie beim Lötten.

Diese Situation änderte sich drastisch, als die Laserschweißgeräte auf den Markt kamen. Ein Laserschweißgerät bietet alle die zuvor erwähnten Vorteile, weil die auf das zu schweißende Objekt einwirkende Energie nicht als Flamme emittiert wird, sondern als ein Punkt stimulierter und verstärkter Lichtstrahlung (LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Die sogenannte Kavität, das „Herzstück“ des Laserschweißgerätes, besteht aus einer Laserlampe (im Wesentlichen mit dem Blitzlicht einer Kamera zu vergleichen) und dem Laserkristall (Nd:YAG-Kristall), die parallel zueinander angeordnet sind. Der Laserimpuls wird durch Betätigen eines Fußschalters aus-

gelöst, der die Laserlampe zum Blitzen bringt. Die Energie des Blitzlichtes erregt das Laserkristall, welches die Energie bündelt und verstärkt. Eine Anordnung von Spiegeln bringt die „konzentrierte“ Lichtenergie schließlich auf die Fokusebene in der Arbeitskammer des Lasergerätes, wo es auf den zu schweißenden Gegenstand mit vorgegebener Energie trifft (Leistung, Impulsdauer und Fleckdurchmesser). Was man beim Laserschweißen verstehen muss, ist die Tatsache, dass der Laser die Legierung mit „Licht“ zum „Schmelzen“ bringt. Folglich beeinflusst die Oberflächenbeschaffenheit des zu schweißenden Gerüsts (hochglanzpoliert oder sandgestrahlt) die Wirkung der Laserenergie. Je glänzender die Oberfläche ist, desto weniger effizient wird der Laserstrahl sein, weil ein größerer Anteil des auf das Objekt treffenden Lichtes reflektiert wird und somit keine „Schmelzwirkung“ mehr hat. Mit anderen Worten kann man sagen, dass das Beschießen eines Spiegels mit einem Laserstrahl keinerlei Wirkung auf den Spiegel ausübt, weil nahezu 100 Prozent der Laserlichtenergie, die auf den Spiegel trifft, reflektiert wird. Dieser Umstand soll zwar nicht als ein Nachteil der Laserschweißgeräte verstanden werden, aber es ist wichtig, sich dies bei der täglichen Arbeit vor Augen zu halten, weil ein und dieselbe Legierung auf die gleiche (Laser-)Lichtenergie unterschiedlich reagieren kann, je nachdem, wie ihre Oberfläche beschaffen ist. Darauf gestützt haben *Sjörgren et al.* [19] bewiesen, dass das Laserschweißen von Titan im zahnheilkundlichen Bereich möglich ist, wenn man die Eigenschaften des Materials und seine Oberflächenbeschaffenheit entsprechend berücksichtigt. Vor einer umfangreichen Einführung der Laserschweißgeräte auf dem Gebiet der Dentaltechnologie bestand aber noch die Notwendigkeit, die relevanten Einstellungen und Werte für Nd:YAG-Laser zu erforschen.

Weitere Publikationen bestätigen die Vorteile des Laserschweißens gegenüber den Löt- und Plasmaschweißverfahren:

□ *Geis-Gerstorfer et al.* [7] untersuchten die Zugfestigkeit von plasma- und lasergeschweißtem Titan, wobei sie feststellten, dass die Widerstandsfähigkeit der Laserschweißstelle nur wenig geringer als die des ursprünglich gegossenen Materials war. Die geringste Zugfestigkeit wurde bei Plasmaschweißstellen beobachtet. Prüfkörper, die unter Schutzgas und mit Industrielötgeräten gelötet wurden, zeigten eine Zugfestigkeit, die zwischen den Werten für Plasmaschweißen und den Werten für Laserschweißen lag.

□ Der von *Dielert und Kassenbacher* [3] durchgeführte Vergleich zwischen Lötten, Plasmaschweißen und Laserschweißen führte zu dem Ergebnis, dass die Schweißverfahren dem Lötverfahren weit überlegen sind und dass das Laserschweißen dabei vorzuziehen ist, weil es eine größere Flexibilität als das

Plasmaschweißen bietet und weniger Einfluss auf die Kornstruktur des geschweißten Materials ausübt (Abb. 11).

□ Beim Laserschweißen von Goldlegierungen fanden *Eshleman* et al. [6] Unterschiede in der mechanischen Festigkeit von gegossenen Teilen, die in verschiedener Weise vorbehandelt worden waren. Je nach der Legierung konnte eine Wärmebehandlung der Gussstücke nach dem Laserschweißen die mechanische Festigkeit verbessern oder verschlechtern.

□ Bei der Untersuchung von lasergeschweißten Degudent-U-Prüfkörpern fanden *van Benthem* und *Vahl* [22], dass die Festigkeit des geschweißten Prüfkörpers etwas geringer war als die des Originalgusses, aber doppelt so groß wie die eines gelöteten Prüfkörpers.

□ *Smith* et al. [18] gelangten zu dem Schluss, dass Laserschweißen eine wirksame Methode mit guten Ergebnissen bei Legierungen mit hohem Goldanteil ist.

□ Beim Vergleich von laser- und plasmageschweißten Prüflingen fanden *Roggensack* et al. [16] eine ähnliche mechanische Festigkeit, wobei die plasmageschweißten Objekte aber eine ausgedehnte, von der Hitze betroffene Zone aufwiesen, mit Veränderungen in der Kornstruktur und gesteigerter Härte.

□ In den Arbeiten von *NaBadalung* und *Nicholls* fielen die lasergeschweißten CoCr-Legierungen im Vergleich zu elektrisch (plasma-)geschweißten Teilen überzeugend aus, wobei die Ergebnisse nur geringfügig unter den Werten des gegossenen CoCr-Prüfkörpers lagen.

□ Ebenso kamen auch *Dobberstein* und *Dobberstein* [4] mit lasergeschweißten CoCr-Legierungen zu guten Ergebnissen. Sie erwähnen die mechanische Stabilität und die erhöhte Korrosionsbeständigkeit als wichtigste Vorteile.

□ *Van Benthem* und *Vahl* [23] fanden eine perfekte Korrosionsbeständigkeit bei lasergeschweißten Verbindungen von Nichtelegmetallen, bei Anwendung einer nur minimalen Schweißenergie mit einem idealen Schweißpunktdurchmesser.

So bietet das Schweißen offenbar deutliche Vorteile gegenüber dem Lötten, wobei sich das Laserschweißen bisher als überlegen im Vergleich zu anderen Schweißverfahren (oder -systemen) erwiesen hat. Was jedoch als ein Nachteil der Laserschweißgeräte gewertet werden könnte, ist der eher hohe Anschaffungspreis sowie die laufenden Kosten und die Wartungskosten solcher Geräte. Größe und Lärmentwicklung waren bei Laserschweißgeräten bisher auch nachteilige Faktoren, sind aber seit der Einführung von kleineren Desktop-Geräten weniger problematisch.

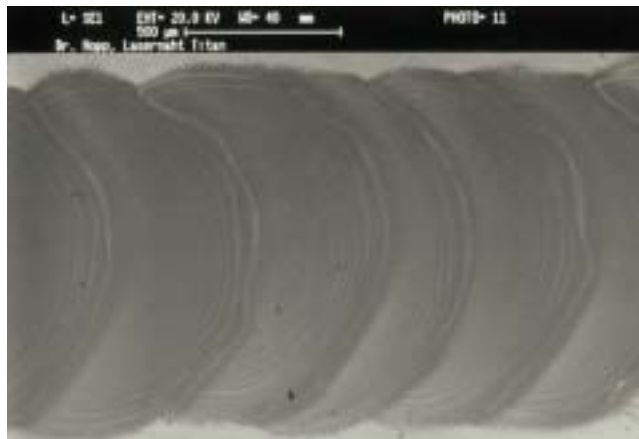


Abb. 11  
REM-Aufnahme  
einer geeigneten  
Titan-Laser-  
schweißnaht



### Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG-Schweißen) – der primotec phaser mx1

Um diese wenigen „Probleme“ der Laserschweißgeräte zu beheben, wurde anlässlich IDS (Internationale Dentalschau) im März 2003 in Köln eine neue Entwicklung im Bereich der dentalen Schweißgeräte vorgestellt – der phaser mx1 (Abb. 12). Dabei handelt es sich um ein gepulstes mikroelektrisches Lichtbogenschweißgerät, welches Präzisionsergebnisse von gleicher Qualität wie ein Laserschweißgerät erreicht (Abb. 13 und 14).

Abb. 12  
Der primotec  
phaser mx1 inkl.  
sive Steuergerät,  
Zoom-Mikroskop  
und Handstück

Die Technologie des primotec phaser mx1 basiert auf dem Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) mit Monoimpulsen. Diese Technologie wurde ursprünglich in der Metallindustrie angewendet, um Leichtmetalllegierungen wie Titan und Aluminium zu fügen, ebenso wie auch besondere Stahllegierungen. Der primotec phaser mx1 ist zwar nicht die erste Anwendung dieses technologischen Prinzips im Bereich der Zahnheilkunde [24, 26], aber es ist das erste Gerät, das konsequent für die spezifischen Anforderungen des Zahntechnikers konzipiert wurde. Wie erfolgreich diese Art von

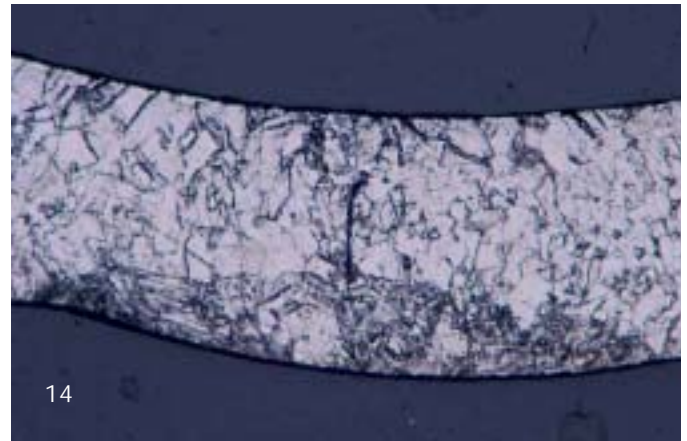
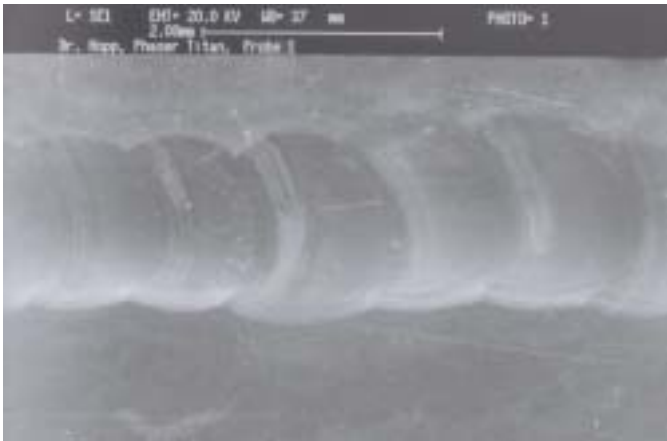


Abb. 13  
REM-Aufnahme  
einer Titan-  
Schweißnaht mit  
dem primotec  
phaser mx1

Schweißverfahren (WIG) auf dem Gebiet der Dentaltechnologie angewendet werden kann, wurde bereits von *Zukunft* [26] im Zusammenhang mit CoCr-Legierungen beschrieben.

Der wichtigste Unterschied zwischen dem Laserprinzip und dem Monopuls-WIG-Prinzip besteht darin, dass der Laser „Licht“-Energie auf das Objekt wirken lässt, während der phaser mx1 „elektrische“ Energie im Sinne eines Plasmas anwendet. Aber dem zu schweißenden Objekt ist es eigentlich „egal“, ob die Energie vom Licht oder von der Elektrizität stammt; wenn die Wärmeenergie auf das Objekt einwirkt, dann schmilzt es einfach. Aber im Gegensatz zum Laser-„Licht“ (Reflektion, Spiegelprinzip) wird das „elektrische“ Schweißen nicht von der Oberflächenbeschaffenheit des Objekts beeinflusst. Weitere Vorteile des gepulsten mikroelektrischen Lichtbogenschweißgeräts, im Vergleich zum Laserschweißgerät, umfassen die erheblich reduzierten Anschaffungskosten (etwa 1/3 eines Lasergerätes), und auch die minimalen Platzanforderungen im Labor wegen der äußerst kompakten Bauweise und das geringe Gewicht des Gerätes zählen zu den Vorteilen. Gleichfalls verursacht das Gerät keine störenden Geräusche während des Betriebs, weil es keinerlei Ventilatoren oder Pumpen zum Kühlen benötigt. Außerdem ist der primotec phaser mx1 wartungsfrei und verursacht äußerst geringe Unterhaltskosten im Vergleich zum Laserschweißgerät, welches einmal pro Jahr Service und Wartung benötigt sowie eine neue Laserlampe zirka alle drei Jahre. Auch die Filter und das Schutzglas eines Lasergerätes müssen in regelmäßigen Abständen ausgewechselt werden.

Dank der Entwicklung des primotec phaser mx1 durch Techniker mit umfangreichen Kenntnissen und Erfahrung auf dem Gebiet der Lasergeräte, konnten auch andere Schwachpunkte der gegen-

wärtig verwendeten Laserschweißapparate beseitigt werden. Zum Beispiel bietet der primotec phaser mx1 eine perfekte „automatische“ Abdeckung der Schweißstelle mit dem Inertgas Argon, weil das Gas direkt durch das Handstück geleitet wird. Bei einem Laserschweißgerät müssen die Argondüsen praktisch jedes Mal vor dem Schweißen eingestellt werden und werden auch oft nicht perfekt eingestellt und/oder wirken sich störend aus. Ebenso kann das Handstück des primotec phaser mx1 fest in seiner Halterung oder frei in der Hand des Bedieners angewendet werden. Der Austritt des Laserimpulses erfolgt nur in einer Richtung (von oben nach unten). Als letztes Beispiel unter vielen anderen kann hier noch angeführt werden, dass der primotec phaser mx1 eine schattenfreie und blendfreie Beleuchtung bietet. Die Beleuchtungsquellen in der Arbeitskammer eines Laserschweißgeräts sind oft so angebracht, dass die Hände des Bedieners und/oder das Modell beim Halten oder Fokussieren des Werkstücks einen Schatten auf die Schweißstelle werfen.

Die Hauptabsicht bei der Entwicklung des primotec phaser mx1 bestand jedoch darin, die Vorteile des Schweißverfahrens in Bezug auf Biokompatibilität und Produktivität einer großen Anzahl von Dental-labors zu erschwinglichen Anschaffungspreisen zugänglich zu machen.

Ein Vergleich zwischen geschweißten Titanverbindungen wurde von *Wang* und *Welsch* [24] präsentiert. Sie untersuchten die Verfahren des Laserschweißens, des Wolfram-Inertgas-Schweißens (WIG-Schweißen) und des Infrarotlötens (Hartlötens). Die Wärmeeinflusszone war beim Laserschweißen am geringsten, aber interessanterweise war die Biegefestigkeit der WIG-geschweißten Fugen zwei bis dreimal größer als die Biegefestigkeit der laser-geschweißten Fugen.

Abb. 14  
Metallografische  
Aufnahme der mit  
dem primotec  
phaser mx1 erstell-  
ten Titan-Schweiß-  
naht aus Abbil-  
dung 13, Schweiß-  
ung in diesem  
Fall nicht durch-  
gehend





Abb. 15  
Schaukelnde Brücke  
nach dem Gießen.  
Anstelle einer interden-  
talen Trennung kann  
als alternative  
Vorbereitung zum  
Schweißen auch  
durch die Krone  
getrennt werden.

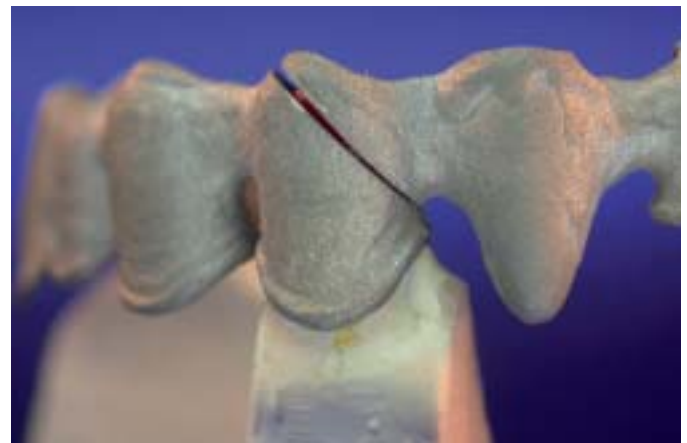


Abb. 16 Die Trennränder sind nicht parallel, was ein  
Beleg für die ursprüngliche Verwindung der Brücke ist.

## Voraussetzungen für erfolgreiche Schweißresultate

Am wichtigsten ist es, zu verstehen, dass Löten und Schweißen zwei verschiedene Verfahren sind, mit unterschiedlichen Techniken und Grundsätzen. Wenn man die herkömmliche Löttechnik im Zusammenhang mit der Vorbereitung des Werkstücks und den werkstoffkundlichen Gesichtspunkten unverändert auf das Schweißverfahren anwenden würde, dann wäre ein Scheitern des Schweißvorgangs höchst wahrscheinlich. Beispielsweise muss die Wärmeleitfähigkeit einer dentalen Legierung im Gegensatz zu ihrem Schmelzintervall sorgfältig in Betracht gezogen werden. Beim Schweißen mit Laser oder mit dem primotec phaser mx1 hängt die zum Schmelzen der Legierung erforderliche Energie in erster Linie von der Wärmeleitfähigkeit der Legierung ab – und viel weniger von ihrem

Schmelzintervall. Zum Beispiel wird eine hochgoldhaltige Legierung aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit die erzeugte Energie schneller aufnehmen und erfordert deshalb einen größeren Energieeintrag (Leistung x Impulsdauer) als etwa Kobalt-Chrom oder Titan, obwohl das Schmelzintervall der CoCr-Legierung (und/oder der Schmelzpunkt von Titan) viel höher liegt als der von hochgoldhaltigen Legierungen.

Beim Löten benötigt man eine größere Flammenhitze, um eine CoCr-Legierung zum Schmelzen zu bringen, als zum Schmelzen einer Goldlegierung. In diesem Fall ist die Wärmeleitfähigkeit der Legierung weniger wichtig, weil sich das gesamte Objekt beim Lötvorgang ohnehin erhitzt (durch die Lötflamme).

## Literatur

- [1] Angelini E, Pezzoli M, Rosalbino F, Zucchi F: Influence of corrosion on brazed joints strength; J Dent 19, 56 – 61 (1991).
- [2] Burstone CJ: Welding of TMA wire – clinical applications; JCO 21, 609 – 219 (1987).
- [3] Dielert E, Kassenbacher A: Lötungen, Mikroplasma- und Laserstrahlschweißungen an Dentallegierungen; Dtsch Zahnärztl Z 42, 647 – 653 (1987).
- [4] Dobberstein H, Dobberstein H: Laserschweißen von CoCr-Legierungen; Zahntechnik 29, 117 – 120 (1988).
- [5] Donovan MT, Jin-Jong Lin J, Brantley WA, Conover JP: Weldability of beta titanium arch wires; Am J Orthod 85, 207 – 216 (1984).
- [6] Eshleman JR, Svitzer JR, Moon PC: Heat treatment of laser-welded gold alloys; J Prosthet Dent 36, 655 – 659 (1976).
- [7] Geis-Gerstorfer J, Weber H, Simonis A, Eckhardt M, Haselberger D: Zugfestigkeit von plasma- und lasergeschweißtem gegossenem Titan; Dtsch Zahnärztl Z 45, 545 – 547 (1990).
- [8] Gordon TE, Smith DL: Laser welding of protheses – an initial report; J Pros Dent 24, 472 – 476 (1970).
- [9] Gustavsen F, Berge M, Hegdahl T: Flexural strength of a high-temperature soldered cobalt-chromium alloy; J Prosthet Dent 61, 568 – 571 (1989).
- [10] Hruska AR, Borelli P: Quality criteria for pure titanium casting, laboratory soldering, intraoral welding and a device to aid in making uncontaminated castings; J Prosthet Dent 66, 561 – 565 (1991).
- [11] Hruska AR, Zappe W: Intraorales Schweißen von Reintitan; Quintessenz 35 – 48 (1988).
- [12] Jempt T, Bergendal B, Arvidsson K, Bergendal T, Karlsson U, Linden B, Palmquist S, Rundcrantz T, Bergström Ch: Laser-welded titanium frameworks supported by implants in the edentulous maxilla: a 2-year prospective multicenter study; Int J Proth 11, 551 – 557 (1998).
- [13] Kassenbacher A, Dielert E: Werkstoffprüfung an laserstrahlgeschweißten bzw. gelöten Gold- und CoCrMo-Dentallegierungen; Dtsch Zahnärztl Z 43, 400 – 403 (1988).
- [14] NaBadalung DP, Nicholls JI: Laser welding of a cobalt-chromium removable partial denture alloy; J Prosthet Dent 79, 285 – 290 (1998).
- [15] Preston JD, Reisbick MH: Laser Fusion of selected casting alloys; J Dent Res 54, 232 – 238 (1975).
- [16] Roggensack M, Walter MH, Böning KW: Studies on laser- and plasma-welded titanium; Dent Mater 9, 104 – 107 (1993).
- [17] Sloan RM, Reisbick MH, Preston JD: Post-ceramic soldering of various alloys, J Prosthet Dent 48, 686 – 689 (1982).
- [18] Smith DL, Burnett AP, Gordon TE: Laser welding of gold alloys; J Dent Res 51, 161 – 167 (1972).
- [19] Sjörgren G, Andersson M, Bergman M: Laser welding of titanium in dentistry; Acta Odontol Scand 46, 247 – 253 (1988).
- [20] Staffanou RS, Radke RA, Jendresen MD: Strength properties of soldered joints from various ceramic-metal combinations; J Prosthet Dent 43, 31 – 39 (1980).
- [21] Taylor JC, Hondrum SO, Prasad A, Broderson C: Effects of joint configuration for the arc welding of cast Ti6Al4V alloy rods in argon; J Prosthet Dent 79, 291 – 297 (1998).
- [22] van Benthem H, Vahl J: Untersuchungen zur Zerreißfestigkeit lasergeschweißter Dentallegierungen; Dtsch Zahnärztl Z 33, 262 – 266 (1978).
- [23] van Benthem H, Vahl J: Zum Korrosionsverhalten lasergeschweißter Dentallegierungen (3. Mitteilung); Dtsch Zahnärztl Z 43, 569 – 574 (1988).
- [24] Wang RR, Welsch GE: Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding, and infrared brazing; J Prosthet Dent 74, 521 – 530 (1995).
- [25] Wiskott HWA, Macheret F, Bussy F, Belser UC: Mechanical and elemental characterization of solder joints and welds using a gold-palladium alloy; J Prosthet Dent 61, 607 – 616 (1997).
- [26] Zukunft D: Über einige werkstoffkundliche Untersuchungen zum WIG-Schweißverfahren an Modellgußlegierungen; Zahntechnik 21, 148 – 150 (1980).

Methode	Investitionskosten	Anwendungsbreite, Flexibilität	Ausbildungsvoraussetzungen	Biokompatibilität	Hitzezone
Lötbrenner (offene Flamme)	gering	groß	moderat	gering	groß
Ofenlötung oder Infrarotlötten	moderat	groß	moderat	gering	groß
Punktschweißen	gering	gering	gering	gut	klein
Plasmaschweißen	moderat	mittelmäßig	mittelmäßig	mittelmäßig	groß
Laserschweißen	hoch	groß	mittelmäßig	gut	sehr klein
Phaserschweißen (WIG)	moderat	groß	mittelmäßig	gut	(sehr) klein

Tab. 2  
Auswertung verschiedener Verbindungsmethoden

Ein weiterer Aspekt ist die Vorbereitung des Werkstücks. Wenn eine Brücke schaukelt und zum Lötten getrennt werden muss, so ist der Trennschnitt die interdental Fuge. Idealerweise erfordert das Lötten zwei planparallele Oberflächen mit einer vorgegebenen Trennweite (ca. 0,2 mm), so dass das Lot durch Kapillarwirkung durch die Spalte schießen und diese vollständig ausfüllen kann. Wenn dieselbe Brücke nicht gelötet, sondern geschweißt werden soll, dann ist es nicht erforderlich und gar nicht einmal besonders günstig, interdental zu trennen. Es ist viel einfacher und viel produktiver, durch die Krone zu trennen (Abb. 15 und 16) und das Kronenteil anschließend auf dem Meistermodell wieder zu verschweißen. Das wäre beim Lötten unmöglich. Hat man einmal verstanden, dass die Vorbereitung der Gerüste für das Lötten und für das Schweißen unterschiedlich sein kann, kommen einem noch viele weitere Ideen zur Vorbereitung eines Gerüstes, um produktiv und mit den besten Resultaten zu schweißen (Tab. 2).

In dieser Serie sollen die verschiedenen Aspekte des Schweißens mit dem primotec phaser mx1 für viele verschiedene Arten von Werkstücken und Legierungen schrittweise diskutiert und beschrieben werden, um dazu beizutragen, dass das Schweißen zu einem Standardverfahren in der Dentaltechnologie wird. □

wird fortgesetzt

### Produktliste

Indikation	Name	Hersteller/Vertrieb
Laserschweißen	primotec phaser mx1	primotec

### Zu den Personen

Joachim Mosch absolvierte eine zahntechnische und kaufmännische Ausbildung und arbeitete 18 Jahre lang in der Europazentrale eines amerikanischen Dentalunternehmens. Im Jahr 2000 gründete er eine eigene Firma (primotec/primodent). Joachim Mosch publizierte in Fachmedien zahlreiche Beiträge zu verschiedenen zahntechnischen Themen, wie zum Beispiel Lichtwachs (Metacon System), Schienentherapie (primosplint), Schweiß- und Lasertechnik und ist international als Vortragsreferent tätig.



Andreas Hoffmann war nach seiner Ausbildung zum Zahntechniker und dem Ablegen der Meisterprüfung (1985) als Geschäftsführer und Mitgesellschafter mehrerer Dentallabore tätig. 1988 wurde er mit dem Straumann-Preis ausgezeichnet. Im Jahr 2000 gründete er das 1. Dentale Service Zentrum. Andreas Hoffmann ist Geschäftsführer der IZZ Stiftung (Institut für angewandte Material- und Verfahrensprüfung der VUZ) sowie Vorstandsmitglied im VUZ Qualitätsverbund. Er ist Autor zahlreicher Veröffentlichungen im In- und Ausland sowie ein international gefragter Referent für Kurse und Vorträge verschiedenster Themen (Galvano, Laserschweißtechnik, Metacon, Cercon, Versyo.com, Cerec, Procera, Phaser).



Michael Hopp ist Absolvent der Humboldt Universität zu Berlin, wo er auch zum Dr. med. promovierte, als wissenschaftlicher Mitarbeiter und später als Oberarzt und Leiter der Vorklinik arbeitete. Dr. Hopp ist langjähriges aktives Mitglied in vielen Organisationen (DIN, DGZI, DGL u.a.) sowie als Gastdozent in Berlin an der Meisterschule und der Universität Greifswald im Bereich Werkstoffkunde tätig. Er ist Autor und Co-Autor von 17 Büchern und über 200 nationalen und internationalen Publikationen. Seine Arbeitsbereiche sind Schweiß- und Behandlungslaser, Implantologie, Werkstoffkunde, Mykologie, Titan, Galvanoforming, Biokompatibilität u.a.



### Kontaktadresse

primotec  
Joachim Mosch  
Tannenwaldallee 4 • D - 61348 Bad Homburg  
Fon +49 (0) 61 72. 99 77 0-0  
primotec@primogroup.de • www.primogroup.de