

Zahntechnische Gebrauchsanweisung

Dentaurum Dentallaser desktop Compact

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Vorbemerkung	2
2. Vorteile der Laserschweißtechnik	2
3. Werkstoffeigenschaften und Laserschweißbarkeit	2
3.1. Physikalische Eigenschaften	2
3.2. Oberflächenbeschaffenheit des Metalls.....	3
3.3. Legierungszusammensetzung	3 + 4
4. Physikalische Laserbegriffe	5
5. Vorgehensweise bei zahntechnischen Laserschweißungen	6
5.1. Legierungseigenschaften	6
5.2. Beurteilung der Schweißflächen.....	6
5.3. Vorbereitung der Schweißstellen.....	7
5.3.1. Präparation eines Stoßkontaktes.....	7 + 8
5.3.2. Qualität des Stoßkontaktes.....	8
5.3.3. Zentrischer Stoßkontakt.....	8 + 9
5.3.4. Breiter Schweißspalt	9
5.4. Schweißzusatzmaterial	9
5.4.1. Vorgefertigtes Zusatzmaterial	9 + 10
5.4.2. Gegossenes Zusatzmaterial	10
5.5. Vorbereitung des Laserschweißgerätes.....	10
5.5.1. Sauberkeit des Objektivschutzglases	10
5.5.2. Schutzgasabdeckung.....	10
5.6. Einstellung der Schweißparameter	11
5.6.1. Die Schweißleistung in der zahntechnischen Umsetzung.....	11
5.6.2. Spannung.....	11
5.6.3. Pulsdauer	11
5.6.4. Wechselbeziehung von Spannung und Pulsdauer.....	11 + 12
5.6.5. Fokuslage	12
5.7. Schweißablauf	13
5.7.1. Kontrolle und Beurteilung der Gesamtschweißtiefe.....	13
5.7.2. Fixierschweißen	13
5.7.3. Tiefenschweißen.....	13 + 14
5.7.4. Tiefenschweißen mit Zusatzmaterial	14
5.7.5. X-Naht Verschweißung	14 + 15
5.7.6. Schweißnähte.....	15
5.7.7. Materialauftrag	15
5.7.8. Laserstrahlausrichtung	16
5.7.9. Glätten.....	16
5.8. Schweißrisse	16
5.9. Verschweißen unterschiedlicher Werkstoffe	16+17
5.10 Schweißen nahe Kunststoff und Keramik.....	17
5.11 Frequenzeinstellung.....	17
5.12 Laserschweißungen im Kieferorthopädie-Orthodontiebereich.....	18-22
5.13 Anwendungsbeispiele Prothetik	23

Zahntechnische Gebrauchsanweisung

Dentaurum Dentallaser desktop Compact

1. Vorbemerkung

Der Schweißlaser in der Zahntechnik nutzt das infrarote Lichtspektrum. Er bewirkt an der Schweißstelle eine konzentrierte Wärmeeinbringung, in dessen Bereich das Metall lokal zum Schmelzen gebracht wird.

2. Vorteile der Laserschweißtechnik

Die immer breitere Verwendung des Lasers in der Zahntechnik lässt sich zwanglos aus den zahlreichen Vorteilen ableiten, die mit ihm zu erzielen sind:

- rationelles Arbeiten = enorme Zeitersparnis
- korrosionsfeste Fügetechnik ohne Lot
- homogenes Gefüge
- mechanisch hochbelastbar
- geringste Wärmeeinflusszone, dadurch weniger Verzug
- arbeiten nahe Keramik und Kunststoff möglich
- problemloses verbinden, erweitern, reparieren
- einsetzbar für fast alle Dental-Legierungen und Titan

Dentaurum stellt mit seinen Dental-Lasern der Zahntechnik Geräte zur Verfügung, mit denen alle Vorteile der Laserschweißtechnik optimal für das Labor genutzt werden können, denn es sind Geräte, die gezielt an den fachlichen Bedürfnissen des Zahntechnikers orientiert entwickelt wurden. Sie integrieren moderne Lasertechnik, Sicherheit, benutzergerechte Ergonomie und einfache Bedienung mit kompakten Abmessungen.

3. Werkstoffeigenschaften und Laserschweißbarkeit

3.1 Physikalische Eigenschaften

Für jedes Dental-Metall und für jede Dental-Legierung wird wegen der unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften, wie z. B. Schmelzpunkt und Wärmeleitfähigkeit, eine spezifische Pulsleistung benötigt.

Die nachstehende Tabelle gibt für einige, in der Zahntechnik verwendete Basis-Metalle bzw. wichtige Legierungselemente für die Beurteilung wichtige physikalische Kennwerte an:

Basismetall	Wärmeleitfähigkeit W/mK	Spez. Wärmekapazität (bez. auf 1 g) J/gK	Dichte P g/cm ³	Spez. Wärmekapazität (bez. auf 1 cm ³) J/cm ³ K	Schmelzpunkt °C
Au	316	0,125	19,19	2,399	1064
Pd	75	0,244	12,02	2,933	1554
Ag	418	0,460	10,49	4,825	960
Cu	393	0,385	8,96	3,450	1083
Zn	113	0,380	7,14	2,710	419
Co	100	0,422	8,90	3,907	1493
Ni	92	0,439	8,90	3,907	1455
Cr	67	0,460	7,19	3,309	1890
Ti	22	0,523	4,51	2,395	1668

(U. a. nach Kappert, H, Titan als Werkstoff für die zahnärztliche Prothetik und Implantologie, DZZ 49, 1994/8)

Die Bedeutung der physikalischen Kennwerte ergibt sich aus den folgenden Überlegungen:

Eine niedrige **Wärmeleitfähigkeit** konzentriert die einfallende Laserenergie auf den Ort der Schweißstelle und ist deshalb für das Laserschweißen positiv.

Metalle bzw. Legierungen mit niedriger Wärmeleitfähigkeit, wie z. B. Titan oder Kobalt-Chrom-Legierungen, benötigen geringere Schweißenergien als solche mit hoher Wärmeleitfähigkeit, wie z. B. Goldlegierungen.

Die spezifische Wärmekapazität sagt aus, wieviel Energie benötigt wird, um 1 g des zu schweißenden Werkstoffs um 1 K (= 1 °C) zu erwärmen.

Da beim Laserschweißen eine volumenmäßige Betrachtung richtiger ist, muss die Dichte (= spezifisches Gewicht, Masse pro cm³) mit betrachtet werden.

Aus beiden ergibt sich die notwendige Energie, um 1 cm³ des Werkstoffs um 1 K zu erwärmen.

3.2 Oberflächenbeschaffenheit des Metalls

Laserstrahlen verhalten sich optisch wie Lichtstrahlen. Glänzende Oberflächen können einen Großteil des Laserstrahls reflektieren, so dass die zum Schweißen verfügbare Energie reduziert wird. Empfehlenswert ist deshalb eine sandgestrahlte Oberfläche. Metalle mit starkem Reflektionsvermögen, wie z. B. Gold, benötigen beim Schweißen deshalb auch eine höhere Energie.

3.3 Legierungszusammensetzung

Die Zusammensetzung der Legierung hat ebenfalls Einfluss auf die Qualität der Laserschweißung:

Edelmetall-Legierungen

Die Laserschweißbarkeit der Edelmetall-Legierungen ist im Allgemeinen als gut zu bezeichnen. Legierungselemente mit hohem Dampfdruck können jedoch die Schweißung durch starke Reaktionen (Verdampfung) negativ beeinflussen. Dies trifft in besonderem Maße auf Legierungen mit hohem Zinkgehalt (ab ca. 2 %) zu.

Bei Legierungen mit hohem Silbergehalt (ab ca. 20 %), sowie titanhaltigen Goldlegierungen kann die Laserschweißbarkeit ebenfalls beeinflusst werden.

Eine grundsätzliche Abhängigkeit der Laserschweißbeignung vom Gold- oder Edelmetallgehalt besteht jedoch nicht.

Edelmetallfreie Legierungen und Metalle

Titan

Titan als Reinmetall ist sehr gut laserschweißbar. Auf eine gute Schutzgasabdeckung der Schweißstelle ist unbedingt zu achten, um Versprödungen durch Sauerstoffaufnahme zu vermeiden.

CoCr-Legierungen

Die Laserschweißbarkeit von CoCr-Legierungen ist vom Kohlenstoffgehalt abhängig. CoCr-Kronen- und Brücken-Legierungen sind in der Regel kohlenstofffrei und gut schweißbar (z. B. remanium® 2000+, remanium® segura).

Bei den CoCr-Modellgusslegierungen sind solche ohne oder mit niedrigem Kohlenstoffgehalt vorzuziehen, um Versprödungen zu vermeiden. Ideal sind Legierungen wie remanium® GM 900 (kohlenstofffrei) oder remanium® GM 800+ (0,2 % C) bzw. remanium® GM 380+ (0,2 % C). Zusatzmaterial bei CoCr-Legierungen sollte grundsätzlich kohlenstofffrei sein, wie z.B. der Dentaurum-CoCr-Laserschweißdraht ø 0,35 mm, REF 528-210-00, ø 0,5 mm, REF 528-200-50. Die kohlenstofffreien CoCr-Kronen- und Brücken-Legierungen wie z.B. remanium® 2000+ eignen sich ebenfalls als Zusatzwerkstoffe. So können auch höher kohlenstoffhaltige Legierungen lasergeschweißt werden.

CoCr-Drähte wie Redur, Crozat oder Wiptam sind als Zusatzmaterial **nicht geeignet!**

Sollen diese, z.B. als Retentionsdraht, verwendet werden, erfolgt das Verschweißen unter Verwendung der genannten Zusatzmaterialien.

Ni-Cr-Legierungen

Nickel-Chrom-Legierungen, wie z.B. remanium® CS, sind ebenfalls gut laserschweißbar. Ideales Zusatzmaterial ist der NiCr-Schweißdraht ø 0,5 mm, REF 528-200-00.

Werkstoffkombinationen

Wegen der Vielfalt der auf dem Dentalmarkt erhältlichen Legierungen und damit möglichen Kombinationen ist eine detaillierte Aussage in Bezug auf einzelne Legierungen kaum möglich. Bitte sprechen Sie den jeweiligen Legierungshersteller an.

Einen generellen Überblick über nach unseren Erfahrungen mit guter bzw. akzeptabler Schweißqualität mögliche (X, x) und nicht oder weniger empfehlenswerte (-) Kombinationen vermittelt die nachstehende Tabelle:

	CoCr	Au- (hochg.)	Au- (red.)	PdCu	PdAg	Ti
CoCr	X	X	X	-	-	-
Au- (hochg.)		X	X	X	x	-
Au- (red.)			X	X	x	-
PdCu				X	x	-
PdAg					x	-
Ti						X

Die Angaben stützen sich auf unsere Erkenntnisse und können nur Anhaltswerte geben für eine Auswahl von Werkstoff-Kombinationen. Eine Zusicherung von Eigenschaften wie mechanische Haltbarkeit und Korrosionsbeständigkeit ist damit nicht verbunden.

Grundsätzlich sollte bei Laserschweißverbindungen verschiedener Werkstoffe untereinander das Korrosions-Risiko (z.B. Entstehung von Lokalelementen) nicht außer acht gelassen werden. Im Zweifelsfall wenden Sie sich bitte an Ihren Legierungshersteller.

4. Physikalische Laserbegriffe

Pulsenergie

Jeder Laserpuls hat einen bestimmten Energieinhalt, die Pulsenergie. Die Pulsenergie wird in Joule = Wattsekunden angegeben, z. B. 30 J.

Pulsleistung

Leistung heißt: Energie pro Zeiteinheit. Sie wird in J/sec = Watt (oder kiloJoule/sec = kiloWatt, kW) angegeben. Die Pulsleistung gibt deshalb an, welche Pulsenergie pro Zeiteinheit abgegeben wird.

Puls-Spannung, Puls-Zeit

Damit die zum Laserschweißen innerhalb sehr kurzer Zeit erforderlichen Pulsenergien und -leistungen abgerufen werden können, wird (elektrische) Energie auf Vorrat gespeichert. Die Speicherung erfolgt in einer sogenannten Kondensatorbank. Der Speicherinhalt dieser Kondensatorbank ist ein Maß für die Pulsenergie. Mittels der Einstellparameter Spannung (in Volt) und Entladezeit (in Millisekunden) kann diese Energie zum Schweißen abgerufen werden.

Eine Erhöhung der Spannung bei konstanter Pulszeit erhöht die abgerufene Pulsenergie ebenso wie eine Erhöhung der Pulszeit bei konstanter Spannung.

Eine Entnahme von gleicher Pulsenergie in kürzerer Zeit erhöht die Pulsleistung, da die gleiche Energie in kürzerer Zeit nur bei höherer Leistung verfügbar ist.

Fokus

Die Fokusverstellung ermöglicht es, den Durchmesser des Laserstrahls zu verstellen. Der Durchmesser im Arbeitspunkt kann dabei sowohl verkleinert als auch vergrößert werden.

An dieser Stelle ist der Begriff „Energiedichte“ zu betrachten. Energiedichte heißt: Energie pro Fläche (z. B. J/cm²). Über den Durchmesser des Laserstrahls ergibt sich eine kreisförmige Fläche, über die sich die Energie des Laserstrahls verteilt. Eine Verkleinerung des Strahldurchmessers bewirkt eine kleinere Fläche und damit die Übertragung gleicher Energie bei höherer Energiedichte.

5. Vorgehensweise bei zahntechnischen Laserschweißungen

5.1 Legierungseigenschaften

Wie schon im Kapitel 3.3 beschrieben, haben die in der Prothetik eingesetzten Legierungen unterschiedliche Eigenschaften, die sowohl die Qualität der Laserschweißung beeinflussen, als auch durch ihr unterschiedliches Wärmeleit- und Reflektionsverhalten, sehr unterschiedliche Schweißenergien beanspruchen.

Im Unterschied zum „Löten“ ist die eingesetzte Energie nicht unmittelbar von der Schmelztemperatur der Legierung abhängig.

Beispielsweise benötigt eine niedrigschmelzende Edelmetall-Legierung wesentlich höhere Laserschweißenergien als CoCr oder Titan, die eine viel höhere Schmelztemperatur besitzen.

Praktisch alle gängigen Dentallegierungen sind laserschweißbar, jedoch mit unterschiedlichen Qualitäten in Bezug auf Festigkeit und Spritzverhalten.

Alle im Labor gebräuchlichen Legierungen müssen daher vorab untereinander verglichen werden, damit die speziellen Eigenheiten beim Schweißverhalten berücksichtigt werden können.

Bei Schweißungen von Legierungen unbekannter Zusammensetzung muss zuerst eine Versuchsschweißung ausgeführt werden. (Ermittlung der Festigkeit und Schweißtiefe durch Brechen des Schweißpunktes).

5.2. Beurteilung der Schweißflächen

Grundsätzlich muss bei der Vorbereitung einer Schweißung auf die Gussqualität der Schweißfläche geachtet werden. Insbesondere bei Reparaturen muss die Schweißfläche unter dem Mikroskop des Laserschweißgerätes beurteilt werden.

Für eine Schweißung besonders negative Merkmale sind:

- lunkriges Gussgefüge
- dunkle Flecken an der Schweißfläche (Karbidausscheidungen)
- Lotreste an den Grenzflächen

Bei Zutreffen eines dieser Merkmale muss die Schweißfläche durch Beschleifen so vorbereitet werden, dass wieder ein sauberes Basismaterial vorliegt. Gegebenenfalls muss sogar ein größeres Stück herausgetrennt werden.

Glänzende Metalloberflächen reflektieren einen Teil des Laserlichtes. Die Oberfläche des Metalls muss deshalb durch Sandstrahlen oder Beschleifen mit Steinen mattiert werden.

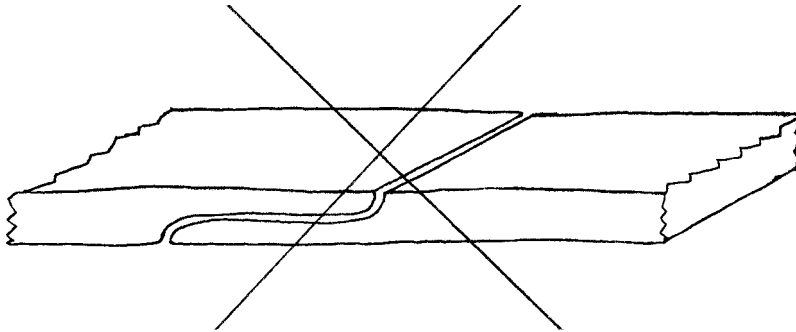
5.3. Vorbereitung der Schweißstellen

5.3.1 Präparation eines Stoßkontaktes

Laserschweißen unterscheidet sich bezüglich der Vorbereitungsarbeiten grundsätzlich vom Löten.

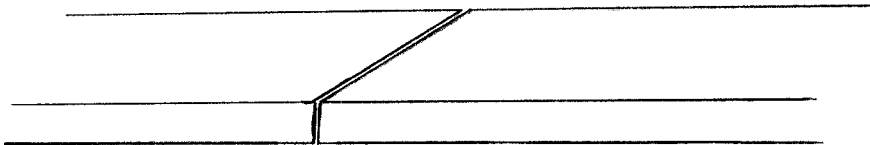
Das beim Löten übliche Überlappen der Werkstücke, das zur Vergrößerung der Lötfläche dient, ist beim Laserschweißen kontraindiziert.

Lötzubereitung:



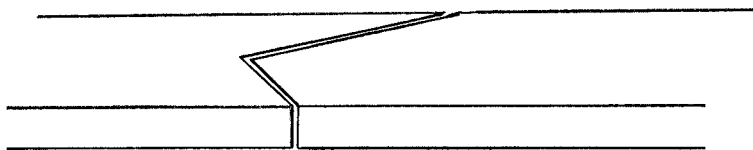
Beim Laserschweißen wird immer ein stumpfer Stoßkontakt gesucht, der ein gegenseitiges Verschweißen von oben und unten ermöglicht.

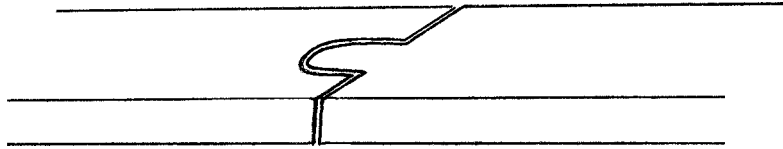
Laservorbereitung:



In Fällen von erhöhter Beanspruchung oder schlechter schweißbarer Legierungen kann die Stoßfläche auch vergrößert werden.

Beispiele:





Gleich wie die Stoßflächen gestaltet sind, es muss immer ein gleichgerichtetes Schweißen von der gegenüberliegenden Seite möglich sein. Nur dadurch können auftretende Spannungen ausgeglichen werden.

5.3.2 Qualität des Stoßkontaktes

Je passgenauer die verschweißte Arbeit sein soll, desto exakter muss der Stoßkontakt vorbereitet werden.

Ein Spalt von bis zu 0,2 mm kann zwar vom Laserstrahl überbrückt werden, jedoch werden sich hier beide Teile zusammenziehen.

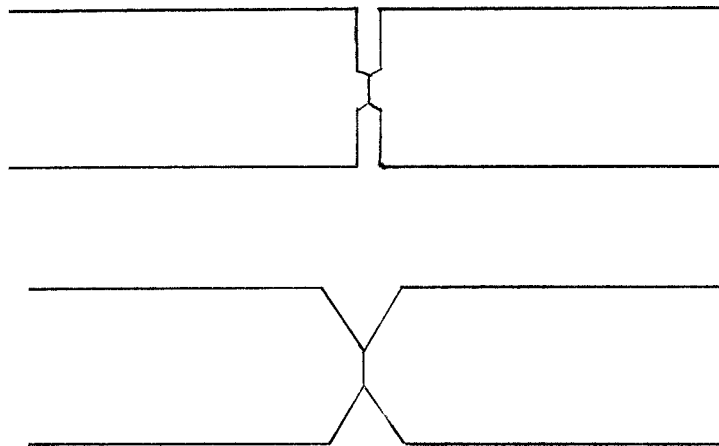
Achtung!

Je größer die geforderte Passgenauigkeit ist, desto mehr muss auf einen spaltfreien Stoßkontakt geachtet werden!

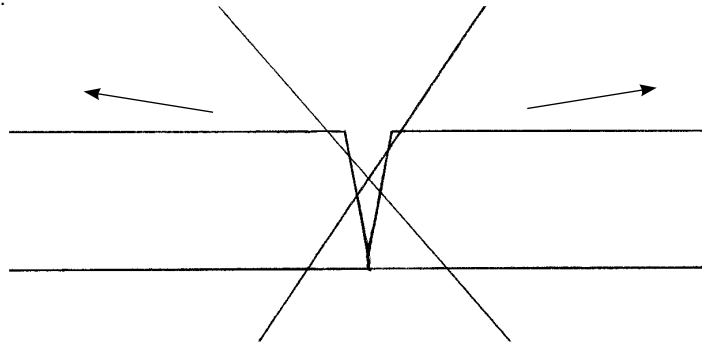
5.3.3 Zentrischer Stoßkontakt

Da es in der Praxis oftmals nicht einfach ist, einen über die gesamte Schweißfläche gleichmäßigen Stoßkontakt zu schaffen, muss zumindest ein zentrischer Stoßkontakt vorbereitet werden.

Möglichkeiten der Vorbereitung:



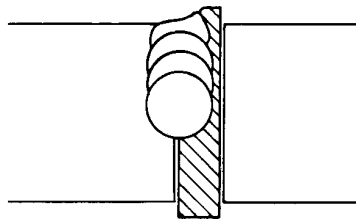
Fehlerhafter Stoßkontakt:



Hier entsteht unweigerlich ein Verzug der Laserschweißung, da die Schweißung oben auf Grund des größeren Spaltes stärker kontrahiert.

5.3.4 Breiter Schweißspalt

Bei einem breiten Schweißspalt muss artgleiches Material eingelegt und zuerst nur auf einer Seite verschweißt werden. Anschließend wird die eigentliche Verbindungsschweißung durchgeführt.



5.4 Schweißzusatzmaterial

Die Bedeutung von geeignetem Schweißzusatzmaterial ist entscheidend für eine hohe Qualität der Laserschweißverbindung.

5.4.1 Vorgefertigtes Zusatzmaterial

Für drahtförmiges Zusatzmaterial liegt die ideale Dimensionierung zwischen 0,35 mm und 0,5 mm Querschnitt.

Dentaurum liefert hierfür geeignetes Material aus

CoCr	Schweißdraht	ø 0,35 mm	mattiert	REF 528-200-50
		ø 0,5 mm	mattiert	REF 528-210-00
Titan	Schweißdraht	ø 0,4 mm		REF 528-039-50
		ø 0,7 mm		REF 528-040-50
		ø 1,0 mm		REF 528-041-00
		ø 1,2 mm		REF 528-042-00
Titan gewalzt		0,25 mm x 3,0 mm		REF 528-044-00
		0,5 mm x 1,5 mm		REF 528-043-00
NiCr	Schweißdraht	ø 0,5 mm		REF 528-220-00
Edelmetall (Au-Pt)	DentAurum C4	ø 0,4 mm		REF 102-521-00
	DentAurum B4	ø 0,4 mm		REF 102-531-00
	DentAurum LFC4	ø 0,4 mm		REF 102-541-00

Die meisten Edelmetalllegierungen werden heute ebenfalls als dünnes Drahtmaterial von den Legierungsherstellern angeboten.

Achtung!

Vorgefertigtes Material ist grundsätzlich dem selbstgegossenen Material vorzuziehen.

5.4.2 Gegossenes Zusatzmaterial

Wenn eine Legierung nicht als vorgefertigtes Material zur Verfügung steht, kann dieses mit gewissen Einschränkungen auch selbst gegossen werden.

Dünne Drähte unter einem Durchmesser von 0,6 mm lassen sich nur sehr schwer vergießen.

Es sollten jedoch von allen im Labor gängigen Legierungen, Stangen von unterschiedlichem Querschnitt (0,6 mm bis 3,0 mm) und Plättchen etwa in der Stärke einer Trennscheibe (auch dicker) gegossen werden.

Die Vorbereitungsarbeit beim Schließen eines Schweißspaltes wird dadurch wesentlich vereinfacht.

Achtung!

Beim Gießen von CoCr-Schweißzusatzmaterial ist abweichend vom Prinzip der gleichen Legierung als Zusatzmaterial immer auf eine kohlenstofffreie Legierung wie remanium® GM 900, remanium® 2000+ oder remanium® segura zurückzugreifen!

5.5 Vorbereitung des Laserschweißgerätes

Vor Arbeitsbeginn sind grundsätzlich folgende Bereiche am Laserschweißgerät zu kontrollieren:

5.5.1 Sauberkeit des Objektivschutzglases

Da sich sowohl Metallspritzer als auch Schweißrauch am Objektivschutzglas anlagern können, muss dieses regelmäßig gesäubert (mit Kleenex® und Alkohol) und bei Bedarf auch ausgetauscht werden. Der Laserstrahl wird bei verschmutztem Glas abgeschwächt und die Leistung dadurch z. T. stark reduziert.

5.5.2 Schutzgasabdeckung

Zur Verhinderung einer unkontrollierten Aufnahme von Sauerstoff während des Laserschweißvorganges empfiehlt sich generell eine Abdeckung der Schweißstelle mit Argon. Ganz besonders wichtig ist dies bei Reintitan und Titanlegierungen.

Position der Schutzgasdüse ca. 5 mm vor dem Objekt (im linken Okular des Mikroskops sichtbar).

Der korrekte Abstand der Argondüsenöffnung wird mit einer Titanscheibe (Referenzmuster im Lieferumfang des Geräts enthalten) ermittelt:

Einstellparameter des Laserschweißgeräts: Spannung 270 V, Pulsdauer 5 ms. Argon-Durchflussmenge 8 l/min.

Titanscheibe im Focus scharf stellen und Argondüse möglichst nahe von schräg oben an die Schweißstelle bringen.

Vor dem Auslösen des Schweißvorgangs über des Fußschalter ca. 3 sec bis 5 sec vorspülen (halbes Durchdrücken des Fußschalters), dann Schweißvorgang auslösen (Fußschalter ganz durchdrücken). Bei optimaler Argonspülung hat der gelaserte Punkt eine silbern glänzende Metalloberfläche. Bei verfärbter Oberfläche Argondüse näher an das Objekt bringen und/oder Winkel der Argondüse verändern und Vorgang wiederholen, bis das erforderliche Oberflächenaussehen erreicht ist. Die so ermittelte Position der Argondüsenöffnung nicht mehr verändern und regelmäßig überprüfen!

Hinweis: Die Titanscheibe kann durch einfaches Abstrahlen immer wieder verwendet werden.

5.6 Einstellung der Schweißparameter

5.6.1 Die Schweißleistung in der zahntechnischen Umsetzung

Basierend auf den im Kapitel 4 erklärten physikalischen Grundbegriffen, ist die Schweiß-„Leistung“ Ihres Laserschweißgerätes regelbar und wird durch 4 Parameter bestimmt:

- Spannung
- Pulsdauer
- Wechselbeziehung von Spannung und Pulsdauer
- Fokuslage

5.6.2 Spannung

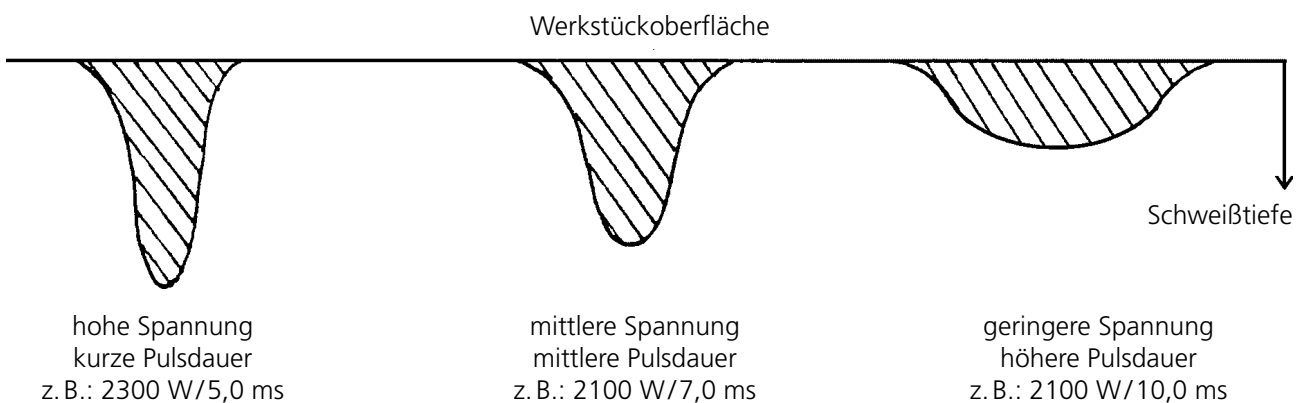
Die Spannung regelt die Schweißtiefe. Eine Erhöhung der Spannung führt zu einer größeren Schweißtiefe, eine Verringerung zu einer reduzierten Schweißtiefe.

5.6.3 Pulsdauer

Die Pulsdauer wird durch die Einwirkzeit des Laserimpulses bestimmt. (0,5 ms - 20 ms). Sie beeinflusst sowohl den Schweißpunktdurchmesser als auch die Festigkeit der Laserschweißnaht.

5.6.4 Wechselbeziehung Spannung und Pulsdauer

Die Parameter Spannung und Pulsdauer stehen in einer Wechselbeziehung und müssen in Abhängigkeit von Materialstärke, Zusammensetzung und Schweißaufgabe abgestimmt sein. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass extreme Unterschiede in den Parametern zu vermeiden sind (z. B. sehr hohe Spannung und sehr geringe Pulsdauer oder sehr geringe Spannung und sehr hohe Pulsdauer). Die Zusammenhänge sind nachstehend schematisch dargestellt:



Durch die Einstellung der entsprechenden Schweißparameter können so zum einen massive Elemente wie Unterkieferbügel oder massive Zwischenglieder sicher verbunden werden, da Materialstärken bis ca. 4 mm durch beidseitiges schweißen durchgeschweißt werden können. Auf der anderen Seite sind aber auch feinste Schweißungen wie an Implantaten oder Geschiebeteilen durch Reduzierung der Leistungsabgabe sicher durchführbar.

Weiches Schweißen

Weiches Schweißen bedeutet: Schweißen mit höherer Pulsdauer und niedrigerer Spannung. Eine Verbindung, die z. B. mit den Parametern 2400 W / 12,0 ms durchgeschweißt wird (weiches Schweißen), hat ein besseres und stabileres Schweißgefüge als eine Verbindung, bei der mit höherer Spannung und geringerer Pulsdauer die gleiche Eindringtiefe erreicht wurde.

Wenn die Platzverhältnisse es zulassen, sollte daher dieses „weiche Schweißen“ angewendet werden.

Bei ausreichender Wandstärke wird dabei, abhängig von der Legierung, mit Pulsdauer-Zeiten von ca. 10 ms gearbeitet, z. B. bei CoCr-Modellguss-Legierungen Pulsdauer min. 8 ms bis 10 ms.

Die Spannung wird danach einjustiert und ggf. auf einen niedrigeren Wert eingestellt.

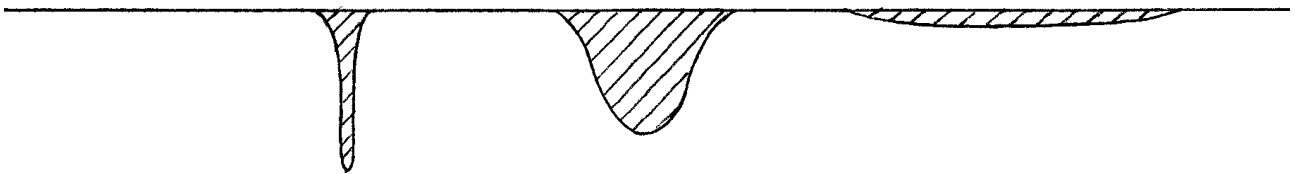
5.6.5 Fokusslage

Der Durchmesser des Laserstrahls im Brennpunkt kann durch die Fokusverstellung von 0,2 mm bis 2,0 mm variiert werden. Mit kleinem Fokussdurchmesser kann deshalb an sehr engen Stellen punktförmig geschweißt werden, während mit großem Fokussdurchmesser breitflächig verschwemmt werden kann.

Eine sehr enge Einstellung des Brennfleckdurchmessers bringt den Laserstrahl in eine Bohrstellung. Dies führt in der Regel zu unkontrollierten Materialauswürfen und schlechter Verbundfestigkeit.

Eine sehr breite Einstellung des Brennfleckdurchmessers schmilzt das Metall nur oberflächlich an. Eine Tiefenschweißung kann damit nicht erzielt werden, jedoch ein Glätten oder sogar Polieren.

Der zum Schweißen ideale Fokussdurchmesser liegt bei 0,6 mm bis 0,8 mm, der in Einzelfällen verändert werden kann.



5.7 Schweißablauf

Nachdem alle in Kapitel 5.1. bis 5.6. beschriebenen Vorbereitungsmaßnahmen durchgeführt wurden, kann der eigentliche Schweißvorgang beginnen.

5.7.1 Kontrolle und Beurteilung der Gesamtschweißtiefe

Vor dem Fixieren auf dem Meistermodell wird die Gesamtstärke der auszuführenden Schweißung beurteilt.

Auf Basis der eingesetzten Legierung, dem eventuell noch vorhandenen Spalt und der ermittelten Schweißtiefe wird ein entsprechender Schweißparameter festgehalten.

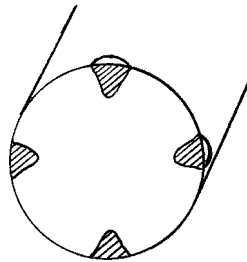
5.7.2 Fixierschweißen

Für ein verzugfreies Schweißen sind außer der sauberen Vorbereitungsarbeit das richtige Platzieren der Schweißpunkte von ebenso großer Bedeutung.

Grundsätzlich gilt:

Je geringer die eingesetzte Schweißenergie, desto kleiner ist die Verzugsfahr.

Das zu verschweißende Werkstück wird deshalb zuerst auf dem Meistermodell über ein Fixierschweißen zusammengeheftet.



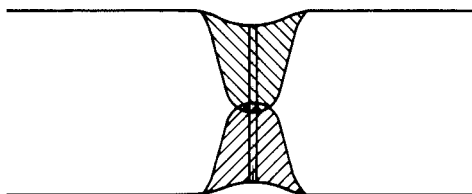
Wie in der Abbildung dargestellt, werden 4 gegenüberliegende Schweißpunkte mit niedriger Energie gesetzt. Je nach Anwendungsfall wird mit einer Schweißtiefe von 0,15 mm bis 0,3 mm gearbeitet.

Wenn möglich, werden die ersten Punkte immer dort gesetzt, wo der beste Stoßkontakt sichtbar ist. Die Arbeit wird vom Modell abgehoben und auf Spannungsfreiheit überprüft.

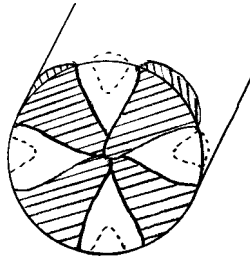
5.7.3 Tiefenschweißen

Diagonal zu den gesetzten Fixierpunkten wird mit einer der Gesamtstärke der Verschweißung entsprechenden Energie die Tiefenschweißung durchgeführt.

Dabei ist immer auf ein gegenüberliegendes, beidseitiges Schweißen mit Überlappung der Nahtwurzel zu achten.



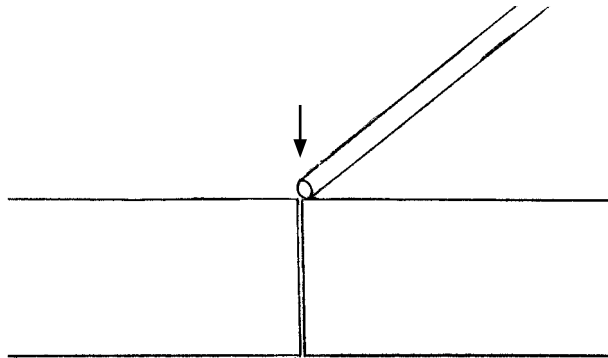
Nach dem Setzen der 4 gegenüberliegenden Tiefenschweißpunkte kann auch über die gesetzten Fixierpunkte hinweg, die Verschweißung der noch offenen Zwischenräume vorgenommen werden.



5.7.4 Tiefenschweißen mit Zusatzmaterial

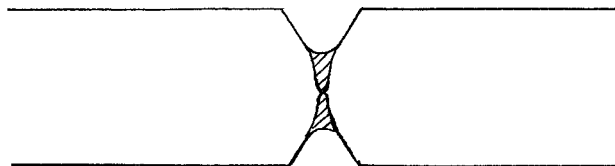
Bei vielen Schweißaufgaben ist es von Vorteil, geeignetes Zusatzmaterial (0,35 mm bis 0,5 mm) während des Tiefenschweißvorgangs mit in den Schweißspalt einzuwerfen. Damit wird fehlendes Material gleich während des Schweißens mit aufgefüllt.

Wichtig ist dies besonders bei schlechter schweißbaren Legierungen, da hierdurch häufig die Qualität verbessert wird. Beim Schweißen von CoCr-Modellgusslegierungen muss immer ein kohlenstofffreier CoCr-Laserschweißdraht in den Spalt eingebracht werden.

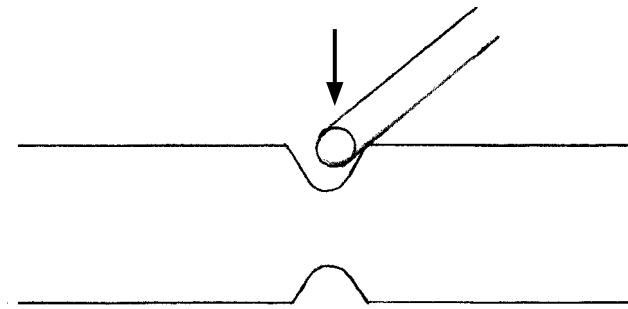


5.7.5 X-Naht Verschweißung

Bei einer Vorbereitung mit mittigem Stoßkontakt kann generell mit niedrigeren Schweißenergien gearbeitet werden.



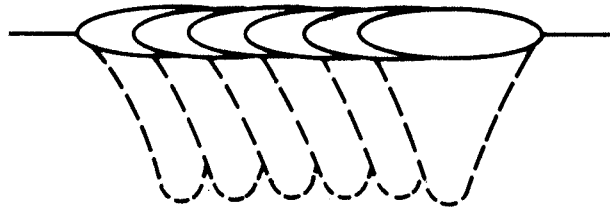
Zuerst wird das Zentrum der Kontaktfläche verschweißt.



Zusatzmaterial der gleichen Legierung (0,35 mm bis 0,5 mm Draht) wird rings um die Hohlkehle mit niedriger Schweißenergie aufgeschweißt. Es wird dabei soviel Material aufgebaut, dass mindestens der Gesamtquerschnitt des Ursprungmaterials erreicht wird.

5.7.6 Schweißnähte

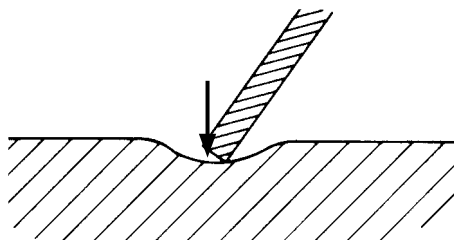
Schweißnähte werden mit einer Überlappung der einzelnen Schweißpunkte von etwa 2/3 der Oberfläche gesetzt, um auch in der Tiefe ein vollständiges Verschweißen zu erreichen.



5.7.7 Materialauftrag

Bei Einschnürungen an der Schweißnaht oder bei gewünschter Materialverstärkung (z. B. Kontaktpunkte) wird entsprechendes dünnes Drahtmaterial aufgeschweißt.

Das Material wird von der Spitze weg auf die zu verstärkende Stelle geschossen. Dies geschieht mit einer etwas weicheren Lasereinstellung, d. h. niedrige Spannung und höhere Pulsdauer.



5.7.8 Laserstrahlausrichtung

Im Regelfall wird der Laserstrahl immer senkrecht auf das Objekt gerichtet. Der Strahlengang des Laserlichts liegt genau in der Blickrichtung durch das Mikroskop. Bei einem schrägen Ansetzen der Strahlrichtung auf das Objekt wird das oberflächlich erschmolzene Metall in Richtung des Strahls geschoben. Auf diese Weise kann bei Bedarf Material in eine gewünschte Richtung „getrieben“ werden.

5.7.9 Glätten

Mit Hilfe des verstellbaren Fokus kann unter Fokusaufweitung eine gezogene Schweißnaht geglättet werden.

Der Fleckdurchmesser wird stark vergrößert und die Energie auf diese Fläche verteilt. Dadurch wird nur die Oberfläche angeschmolzen und dadurch verschwemmt.



5.8 Schweißrisse

Einige schwer schweißbare Legierungen neigen zur Bildung von Rissen in der Schweißnaht.

Diese Risse entstehen zumeist erst nach einigen Schweißpunkten und sind in der Regel nur unter der Vergrößerung des Mikroskopes sichtbar. Sie stellen eine starke Schwächung der Schweißnaht dar und müssen deshalb unbedingt vermieden werden.

Abhilfe wird durch Vorbereitung eines guten Stoßkontakts und den Einsatz von geeignetem Zusatzmaterial geschaffen. Das Zusatzmaterial kann dann u. U. auch aus artfremder Legierungszusammensetzung sein (z. B. kann eine schwer schweißbare Palladium-Silber-Legierung mit Golddraht als Zusatzmaterial in den Laserschweißeigenschaften verbessert werden).

5.9 Verschweißen unterschiedlicher Werkstoffe

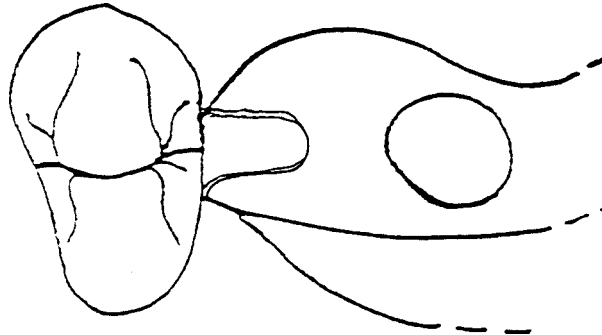
Beim Verschweißen von zwei unterschiedlichen Werkstoffen sollte stets etwas mehr Energie auf die Legierungen fließen, die eine höhere Schweißenergie benötigt.

Beim Verbinden einer Goldlegierung mit einer CoCr-Legierung wird daher z. B. der Fokus etwas mehr auf die Goldlegierung gerichtet.

Beim Schweißen von EM-Teleskopen an eine Modellgusslegierung empfiehlt es sich, einen Appendix an der Krone anzubringen, um stabile und spannungsfreie Schweißungen zu erzielen.

Empfehlung: Konuszapfen zum Laserschweißen REF 111-901-00.

Anzustreben ist eine möglichst spaltfreie Passung zwischen Kronenappendix und Modellguss. Verlasern mit CoCr-Draht oder ohne Zusatzwerkstoff. Bei nur flächigem Kontakt zwischen Krone und Modellguss auf jeden Fall mit Golddraht als Schweißzusatzmaterial arbeiten. Jedes Sekundärteil einer Kombi-Arbeit einzeln für sich fertig schweißen, um eine bessere Passungskontrolle zu gewährleisten! Schweißpunkte abwechselnd gegenüberliegend setzen und abwechselnd von oben und unten schweißen!



5.10 Schweißen nahe Kunststoff und Keramik

Schweißungen in unmittelbarer Nähe von Kunststoffen sind problemlos durchführbar, ebenso Schweißungen nahe an Keramikverblendungen, im Idealfall sollte jedoch ein Metallrand von ca. 1 mm Breite vorhanden sein.

Zur Vermeidung von zu hoher Hitzeeinwirkung sollten die einzelnen Schweißpunkte mit größerem zeitlichen Abstand gesetzt werden.

5.11 Frequenzeinstellung

Das Laserschweißgerät kann sowohl mit Einzelimpulsen (0 Hz) oder mit einstellbarer Taktfrequenz im Dauerpuls betrieben werden. Im Regelfall sollte auch beim erfahrenen Anwender keine Taktfrequenz über 3 Hz gewählt werden. Dies bedeutet 3 Schweißpunkte pro Sekunde, die nur noch sehr schwer aus der Hand nachgeführt werden können. Bei einer Einstellung von 1 Hz kann sowohl bei durchgetretenem Pedal mit einer langsamen Dauerpuls-einstellung gearbeitet werden, als auch durch Absetzen des Pedals einzelne Schweißpulse abgegeben werden.

5.12 Laserschweißungen im Kieferorthopädie-Orthodontie Bereich

Schweiß-tabelle für Dentaurum-Laserschweißgeräte

Grundlegende Hinweise zur Benutzung der Schweiß-tabelle:

1. Das Verschweißen von Kleinteilen und Geräten in der Kieferorthopädie erfordert generell die gleichen Voraussetzungen und Vorbereitungen, die als Grundlagen der Laserschweißtechnik bereits bekannt sind.
2. Eine passgenaue und spaltfreie Vorbereitung der zu fügenden Teile ist Grundvoraussetzung für das erfolgreiche Verschweißen von zum Teil sehr dicken Teilen (z. B. Drähten) mit extrem dünnen Teilen (z. B. Bänder).
3. Um in der Kieferorthopädie effektiv arbeiten zu können, müssen die jeweils zu schweißenden Teile plan aneinander liegend vorbereitet werden. Gerade industriell immer wieder gleich gefertigte Teile, wie die Mutter des Herbst®-Scharniers oder die Basis eines Bukkalröhrchens müssen dazu mit Schleifsteinchen so bearbeitet werden, dass sie plan an den jeweils unterschiedlich großen und unterschiedlich geformten Bändern anliegen. Nur so können diese Teile ohne Schweißzusatzmaterial direkt miteinander verbunden werden.
4. Ist die Kontaktstelle zwischen Band und Draht nur punktförmig oder tritt dabei sogar ein geringer Spalt auf, so muss mit einem geeigneten Schweißzusatzmaterial, wie remanium®-Draht \varnothing 0,35 mm gearbeitet werden.
5. Generell sollten alle Laserschweißungen unter Argonschutzgasatmosphäre durchgeführt werden, um eine Oxidation in der Schweißnaht zu unterbinden. Dies wirkt sich positiv auf die Stabilität der Schweißnaht aus. Die Schweißpunkte müssen generell metallisch glänzend erscheinen.
6. Die in der Kieferorthopädie verwendeten Teile weisen oftmals eine glänzende Metalloberfläche auf. Dies kann dazu führen, dass der Laserstrahl reflektiert wird. Wegen der langwierigen Nacharbeit wird in diesen Fällen jedoch auf ein Abstrahlen der zu schweißenden Teile mit Korund verzichtet. Um dennoch das gewünschte Schweißergebnis zu erhalten kann es notwendig sein, den Einfallswinkel des Laserstrahls auf die Verbindungsstelle zu variieren. Die eingesetzte Schweißleistung muss dann den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden. Im Normalfall wird die Leistung individuell angehoben und der Einfallswinkel des Laserstrahls so gewählt, dass dieser vom „dicken“ zum „dünnere“ Anteil geführt wird.
7. Die in der nachfolgenden Schweiß-tabelle angegebenen Schweißparameter beziehen sich auf die Erfahrungen der Dentaurum-Anwendungstechnik mit Dentaurum-Produkten für die Kieferorthopädie/Orthodontie.

Schweißtablette für Dentaurum Laser-Schweißgeräte Einsatzbereich: Kieferorthopädie / Orthodontie

lfd. Nummer	Aufgabenstellung	Empfohlene Materialien	Schweißparameter		
			Leistung Watt	Pulsdauer ms	Fokuslage Stellung
1	Anfertigung einer Herbst®-Apparatur	a) Herbst®-Scharnier I Molarenbänder OK/UK Prämolarenbänder OK/UK	1800 - 1950	1,0 - 3,0	0,8
		b) Herbst®-Scharnier IV Molarenbänder OK/UK Prämolarenbänder OK/UK	1900 - 1950	1,0 - 3,0	0,8
3	Anfertigung einer Gaumennaht-Erweiterungs-Apparatur	Hyrax®-Schrauben, Molarenbänder OK, Prämolarenbänder OK, remanium®-Draht, federhart 0,9 oder 1,0 mm			
	Schritt 1	Draht ø 1,0 mm an Band	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
	Schritt 2	Retentionsarm an Draht ø 1,0 mm	1950 - 2100	2,0 - 3,0	0,8
	Schritt 3	Verstärken mit Draht ø 0,35 mm	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8 - 1,0
4	Quad-Helix anschweißen an Bänder	Quad-Helix, vorgeformt Molarenbänder OK	1800 - 1850	1,0 - 2,0	0,8
5	Anfertigung eines individuellen Lückenhalters	remanium®-Draht 0,8 mm Molarenband OK/UK	1800 - 1850	1,0 - 2,0	0,8
6	Anfertigung eines Lingual-/Palatinalbogens angeschweißt an Bänder	Orthorama® Lingual-/Palatinalbogen remaloy® Draht ø 0,9 mm remanium® Draht, federhart ø 0,9 mm Molarenbänder UK	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8
7	Anschweißen eines Lingual-/Palatinalschlosses an ein Band	Lingual-/Palatinalschlösser Molarenbänder OK/UK	1800 - 1900	2,0 - 3,0	0,8
8	Anfertigung einer Crozat-Apparatur				
	Schritt 1	remaloy® Drähte ø 0,7 bis 1,5 mm oder	1950 - 2100	2,0 - 3,0	0,8
	Schritt 1	remanium® Drähte, federhart ø 0,7 bis 1,5 mm	1950 - 2100	2,0 - 3,0	0,8
	Schritt 2	Verstärken mit Draht ø 0,35 mm	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8
9	Anfertigung einer Nance-Apparatur	remaloy® Draht ø 0,9 mm an OK Molarenbänder	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8
		remanium® Draht ø 0,9 mm	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
10	Anschweißen eines Häkchens für Gummizüge an einen Face Bow oder Lipbumper				
	Schritt 1	Knopfanker ø 0,7 mm	1800 - 1950	1,0 - 3,0	0,8
	Schritt 2	verstärken mit Draht ø 0,35 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8

Schweißtablette für Dentaurum Laser-Schweißgeräte Einsatzbereich: Kieferorthopädie / Orthodontie

Ifd. Nummer	Aufgabenstellung	Empfohlene Materialien	Schweißparameter		
			Leistung Watt	Pulsdauer ms	Fokuslage Stellung
11	Anschweißen eines Stopps an einen Rund- oder Vierkantbogen Edelstahl!	Stoppröhrchen, geschlitzt an Rundbogen	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
		an Vierkantbogen	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
12	Anschweißen eines Häkchens für Gummizüge an einen Rund- oder Vierkantbogen	Häkchen vorgeformt oder Knopfanker \varnothing 0,7 mm an Rundbogen	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
		an Vierkantbogen	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
13	Anschweißen eines Kreuzröhrchens an einen Rund- oder Vierkantbogen Edelstahl!	Kreuzröhrchen an Rundbogen	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
		an Vierkantbogen	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
14	Anschweißen von Rundröhrchen an ADAMS-Klammer zur Aufnahme eines Face Bows	Rohre – Edelstahl z. B. \varnothing 1,2 mm	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
15	Individuelle Herstellung eines Kleberetainers Anfertigung eines individuellen Lingualretainers	remaloy® Draht \varnothing 0,7 mm Netzbasis, klein	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
16	Individuelle Herstellung eines Häkchens an Band- oder Klebebracket/Bukkälöhrchen	Knopfanker \varnothing 0,7 mm	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
17	Anfertigung eines „Kahn-Sporns“ an einem Face Bow				
	Schritt 1	remanium® Draht \varnothing 0,9 mm, Stoß an Stoß	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
	Schritt 2	Verstärken mit Draht \varnothing 0,35 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
18	Anfertigung eines Spikes für Klebertechnik Spikes auf Lingualbogen				
	Schritt 1	remanium® Draht \varnothing 0,9 mm auf Netzbasis	1800 - 1850	1,0 - 3,0	0,8
	Schritt 2	Lingualbogen und remanium® Draht \varnothing 0,9 mm	1900 - 2000	1,0 - 3,0	0,8
19	Anfertigung einer individuellen Feder an einem Labialbogen	Verstärken mit Draht, \varnothing 0,35 mm	1800 - 1900	2,0 - 4,0	0,8
		remanium® Draht, \varnothing 0,7 mm, federhart	1900 - 2000	1,0 - 3,0	0,8
20	Anfertigung eines Häkchens für Gummizüge an eine Gesichtsmaske				
	Schritt 1	Knopfanker \varnothing 0,9 mm	1900 - 2000	2,0 - 4,0	0,8
	Schritt 2	Verstärken mit Draht \varnothing 0,35 mm	1800 - 1900	2,0 - 4,0	0,8
21	Anschweißen einer Mutter für Federbolzenschrauben an einem Labialbogen				
	Schritt 1	Gerändelte Mutter	1900 - 2100	2,0 - 4,0	0,8
	Schritt 2	Verstärken mit Draht \varnothing 0,35 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8

Schweißtablette für Dentaurum Laser-Schweißgeräte Einsatzbereich: Kieferorthopädie / Orthodontie

lfd. Nummer	Aufgabenstellung	Empfohlene Materialien	Schweißparameter		
			Leistung Watt	Pulsdauer ms	Fokuslage Stellung
22	Anfertigung einer zusätzlichen Retention an einer Dehnschraube zur besseren Verankerung im Kunststoff	remanium® Draht ø 0,9 mm	1800 - 1900	2,0 - 4,0	0,8
23 24	Anschweißen eines Drahtes an eine Dehnschraube z. B. als Feder				
	Schritt 1	remanium® Draht ø 0,8 mm – Stoß an Stoß	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
	Schritt 2	verstärken mit Draht ø 0,35 mm oder	1900 - 2000	2,0 - 4,0	0,8
		remanium® Draht ø 0,8 mm – flächig	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
25	Herstellung einer kunststofffreien Dehnapparatur für Unter- oder Oberkiefer	Hyrax®-Schraube, Mini Molarenbänder OK/UK	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
26	Reparatur eines Labialbogens einer ADAMS-Klammer, etc.				
	Schritt 1	remanium® Draht ø 0,7 mm – Stoß an Stoß	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
	Schritt 2	Aufdoppelung mit Draht ø 0,7 mm	1900 - 2000	2,0 - 4,0	0,8
27	Anfertigung eines Stopps an Face Bow/Lipbumper	Stoppröhrchen ø 1,15 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
28	Anfertigung eines „Posts“-Häkchens an einem Rundbogen/OK + UK Vierkantbogen/OK + UK Edelstahl!	Knopfanker ø 0,7 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
29 30	Reparatur einer Hyrax®-Schraube mit abgebrochenem Retentionsarm				
	Schritt 1	Stoß an Stoß	1900 - 2100	3,0 - 5,0	0,8
	Schritt 2	Verstärken mit Draht ø 0,35 mm oder	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
		Flächig anschweißen	1900 - 2100	3,0 - 5,0	0,8

Schweißtablette für Dentaurum Laser-Schweißgeräte Einsatzbereich: Kieferorthopädie / Orthodontie

Ifd. Nummer	Aufgabenstellung	Empfohlene Materialien	Schweißparameter		
			Leistung Watt	Pulsdauer ms	Fokuslage Stellung
31	Bukkalröhrchen an Molarenband	Molarenband OK/UK Bukkalröhrchen	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
32	Doppelhäkchen auf Molarenband	Molarenband OK/UK Lingual-/Palatinalhäkchen	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
33	Modifikation eines Palatinalbügels, Orthorama® System	remanium® Draht, ø 0,5 mm, federhart	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
34	Modifikation zweier Zugschrauben (n. Geller)	Zugschraube	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8

siehe auch Broschüre Beispiele Laserschweißen KFO REF 989-629-10.

5.13 Anwendungsbeispiele Prothetik Einstellwerte für Spannung und Pulsdauer

Die nachstehende Tabelle gibt eine Auflistung von typischen Einstellwerten für Spannung und Pulsdauer für häufige Schweißaufgaben und Legierungssysteme.

Als Referenzeinstellung für die Fokusslage wird $\varnothing 0,7$ mm vorgewählt.

Je nach konkretem Anwendungsfall und verwendeter Legierung sowie Oberflächenzustand können abweichende Einstellwerte erforderlich sein!

Indikation	Werkstoff-System					
	Ti (rein)	Co-Cr	Au-Pt	Au-Ag	Au-Pd	Pd-Ag
UK-Bügel	2350 W - 2450 W 6,0 ms - 8,0 ms	2400 W - 2500 W 6,0 ms - 8,0 ms	–	–	–	–
Brücke	2300 W - 2400 W 4,0 ms - 6,0 ms	2400 W - 2500 W 6,0 ms - 8,0 ms	2450 W - 2600 W 6,0 ms - 8,0 ms	2450 W - 2600 W 6,0 ms - 8,0 ms	2300 W - 2400 W 6,0 ms - 8,0 ms	2300 W - 2400 W 6,0 ms - 8,0 ms
Klein. Verbinder	2300 W - 2400 W 4,0 ms - 6,0 ms	2200 W - 2400 W 6,0 ms - 8,0 ms	–	–	–	–
Klammer	1900 W - 2000 W 2,0 ms - 3,0 ms	2000 W - 2100 W 2,0 ms - 3,0 ms	–	–	–	–
Kronenloch	1850 W - 1900 W 1,0 ms - 2,0 ms	1900 W - 2000 W 1,0 ms - 3,0 ms	1900 W - 2100 W 2,0 ms - 4,0 ms	1900 W - 2100 W 2,0 ms - 4,0 ms	1900 W - 2000 W 2,0 ms - 4,0 ms	1900 W - 2000 W 2,0 ms - 4,0 ms
Plattenschweiß.	2100 W - 2300 W 4,0 ms - 6,0 ms	2200 W - 2400 W 4,0 ms - 6,0 ms	–	–	–	–
Friktionsstift	1900 W - 2000 W 1,0 ms - 2,0 ms	2000 W - 2100 W 1,0 ms - 2,0 ms	–	–	–	–

siehe auch Broschüre Beispiele Laserschweißen Zahntechnik REF 989-818-10.