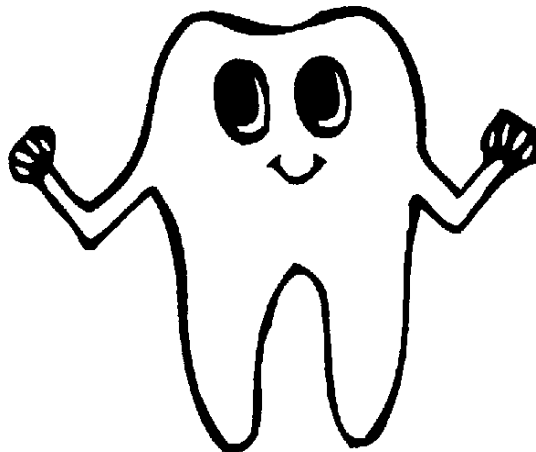


Kursbegleitschrift

Zahntechnisches

Löten



Hans-Joachim Burkhardt
Hermannstr. 12
D-7310 Plochingen

Tel. 07153/24045

Inhaltsverzeichnis:

Einführung	4
Definition des Lötens	6
DIN 8505	6
Solidustemperatur	6
Liquidustemperatur	6
DIN 13928	6
Aufbau der Lote	9
Goldgußlegierungen	9
Goldreduzierte Gußlegierungen	9
Kupferfreie Gold- Gußlegierungen	9
Silber-Palladium-Gold- Gußlegierungen	9
Aufbrennlegierungen	9
Stahlgoldlote für Kombinationslötungen EM/Co-Cr-Mo	9
Nichtedelmetallegierungen	9
Flußmittel	11
Benetzung	13
Oberfläche	14
Lötspalt	15
Fixierung der Einzelteile	17
Wachse	17
Klebewachse	17
Cyanacrylatkleber	17
Modellierkunststoffe	17
Ist Ihr Fixierungsmaterial geeignet?	18
Lötmodell	19
Fixierung von Modellgußteilen	21
Brenner und Flammenführung	28
Brausekopfbrenner	28
Propan - Druckluft Brenner	28
Propan/Sauerstoff Brenner	28
Nadeldüsenbrenner	28
Hydrozonlötgeräte	28
Löten von Keramikarbeiten	30
Die Ofenlötung	30
1. Methode 30	
2. Methode 31	
Flammenlötung nach dem Keramikbrand	31
Ausarbeiten und Polieren von Lötungen nach dem Brand	32
Persönliche Anmerkung zur Lötung nach keramischem Brand	33
Lote in besonderen Formen	35
Lotringe	35
Lotbad	35
Lotdrähte	36
Lotpasten	36
Lotstäbe mit Flußmittel	36
Zahntechnische Lotformen	37
Blechlote	37
Stab- und Drahtlote	37
Bandlote	37

Röhrenlote	38	
Lotpaste		39
Anwendung der Lotpaste		41
Lötungen von Gold an Modellguß		41
Lötungen von Modellgußreparaturen		41
Lötungen von Gold an Gold		42
Lötung von kieferorthopädischen Geräten		42
Lötung von keramisch verblendeten Gerüsten		43
Reinigung nach der Lötung		43
Zerstörung von Lotstellen		44
Spannungsrißkorrosion		44
Anrißentstehung		44
Rißfortschritt		44
Schwingungsrißkorrosion		44
Restbruch		46
Zusammenfassung		47
Schlußwort		48

Einführung:

Nach wie vor nimmt in der Zahntechnik, wie auch in anderen metallverarbeitenden Berufen, das Löten unter den thermischen Verbindungsverfahren, also bei denen, die unter Wärmezufuhr durchgeführt werden, den wohl höchsten Stellenwert ein.

Es werden zwei Lötverfahren unterschieden, das Weich- und das Hartlöten. Bei Temperaturen bis 450°C spricht man von Weich-, darüber von Hartlöten.

Das Hartlöten ist das älteste bekannte Metallverbindungsverfahren. Belegt durch Funde aus Ägypten und Mesopotamien konnten die ersten vor 6000 Jahren von den Sumerern an Gold gemachten Lötungen nachgewiesen werden.

Später wurde an Schmuck, Geräten, Waffen und Werkzeugen aus Silber, Bronze, Kupfer und Blei gelötet.

Als Lote wurden Legierungen aus Gold-Kupfer, Silber-Kupfer und Kupfer-Blei verwendet. Eine besondere Wichtigkeit nahm das Löten mit Kupfererzen wie Malachit ein.

In diesen Epochen wurden Naturprodukte wie Wachse, Harze, Mineralien, Pflanzenalkalien und vor allem Soda als Flußmittel verwendet.

Weichlöten mit Zinnloten wurde erst im 2. Jahrtausend v.Chr. in der Ägäis angewandt, da Zinn selbst vorher kaum bekannt war. Bleilöten, im heutigen Sinne eher als Schweißverfahren zu betrachten, wurde von 3000 v.Chr. von den Mesopotamiern bis zu den Römern insbesondere für Klempnerarbeiten an Bleirohren angewandt.

Eine der eindrucksvollsten und schönsten Techniken der Löttechnik aus grauen Vorzeiten ist die aus Troja und Kreta stammende Granulationstechnik. Hierbei werden winzige Kügelchen aus Gold und Silber auf einen Untergrund des gleichen Materials ohne Zuhilfenahme von Lot aufgeschmolzen. Erstaunlich ist, daß die Granulationstechnik in der Spätantike in Vergessenheit geriet. Erst gegen Mitte unseres Jahrhunderts konnte mit den Methoden moderner Technik nachgewiesen werden, wie diese altertümliche Technik zustande kam und somit war diese erst ab diesem Zeitpunkt wieder nachvollziehbar, da es keine schriftlichen Überlieferungen zu dieser Technik gab.

Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kamen thermische Verbindungsverfahren wie z.B. die Lichtbogenschweißung hinzu.

Aufgrund seiner universellen Anwendungsmöglichkeiten hat das Hartlöten in der Zahntechnik trotz moderner Schweiß- und Klebverfahren nicht an Bedeutung verloren. Die Anzahl der täglichen Lötungen in unseren Betrieben liegt immer noch deutlich über der Zahl der anderen Verbindungsverfahren, wobei Kleben mit Sicherheit an die zweite Stelle vorgerückt ist.

Was uns die Zukunft in der Verbindungstechnik beschert, kann heute wohl kaum jemand sagen. Viele Zahntechniker ziehen jedoch nach der anfänglichen Euphorie über die Klebetechnik inzwischen wieder eine korrekte Lötung einer viel zu teuren Schweißung oder möglicherweise unsicheren Klebung vor.

Leider ist immer wieder festzustellen, daß während der Ausbildung auf das Löten weniger Wert gelegt wird - im Zeitalter der Ringdeckelkrone war das etwas anders. Somit fehlt die Erfahrung und viele junge Zahntechniker schauen heute neidvoll den Goldschmieden über die Schulter. Geht eine Lötung schief, was leider immer wieder vorkommen kann, ist meistens der Lehrling schuld, nicht aber der Meister, der es ihm beigebracht hat.

Dies hat zur Folge, daß trotz modernerer Materialien heute eher mehr Probleme auftreten als früher, denn es wird zu wenig über die Gestaltung der Verbindungsstelle, die Zusammensetzung des Lotes und der Grundwerkstoffe nachgedacht und experimentiert.

Definition des Lötens:

DIN 8505 definiert Löten als ein **thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen oder Beschichten von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes oder durch Diffusion an den Grenzflächen** entsteht. Die Solidustemperatur der Grundwerkstoffe wird dabei nicht erreicht.

Lote sind geeignete Zusatzwerkstoffe aus Reinmetallen oder Metallegierungen.

Flußmittel werden als nichtmetallische Stoffe beschrieben, welche die Aufgabe haben, auf der Lötstelle vorhandene Oxide aufzulösen und/oder ihre Neubildung zu verhindern.

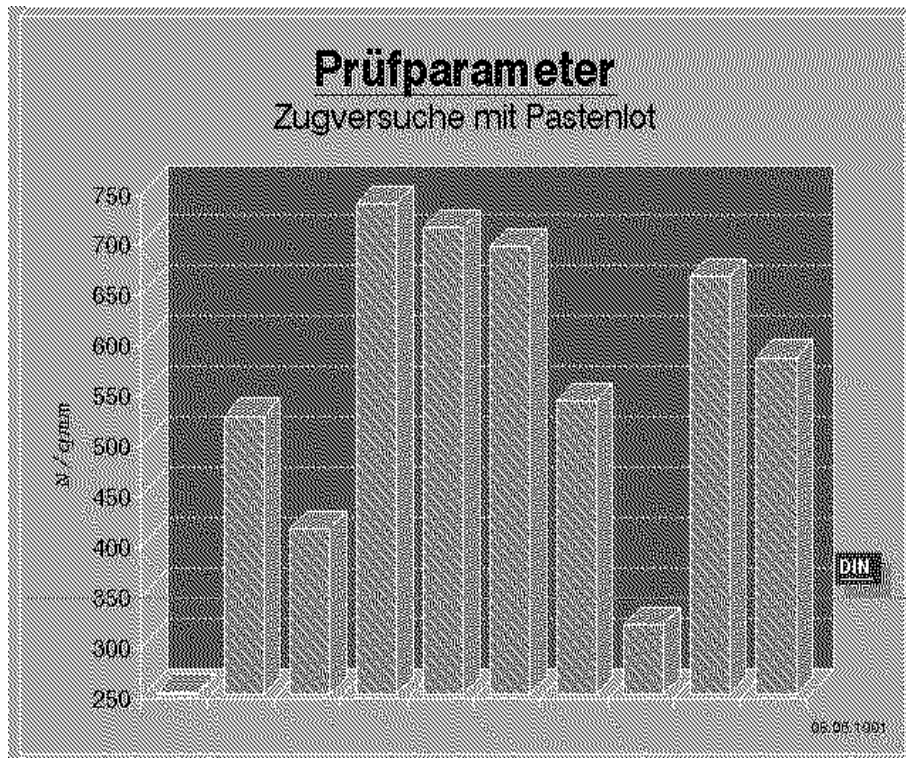
Im Gegensatz zu Reinmetallen haben Legierungen, also Mischungen aus verschiedenen Reinmetallen (zu denen auch die Lote zählen), keinen definierten Schmelzpunkt, sondern einen Schmelzintervall. Dabei wird die Temperatur, bei der sich der Legierungsbestandteil mit dem niedrigsten Schmelzpunkt verflüssigt, als **Solidustemperatur** bezeichnet. Die Legierung beginnt weich zu werden. Schmilzt innerhalb einer Legierung das Metall mit dem höchsten Schmelzpunkt, ist die **Liquidustemperatur** erreicht und die Legierung ist insgesamt flüssig. Beim Abkühlen kehrt sich dieser Vorgang um.

In DIN 13928 werden die Anforderungen und Prüfmethode festgeschrieben, denen die Lote für die Zahntechnik selbst und in Kombination verschiedener Dentallegierungen mindestens genügen müssen. Im Vordergrund stehen hierbei Mundbeständigkeit und Gewebeverträglichkeit neben den Anforderungen an mechanische Festigkeit und chemische Beständigkeit. Die Zugfestigkeit wird hierbei auf mindestens 350 N/mm^2 ($\text{N}=\text{Newton}$) festgesetzt.

In der Praxis hat sich gezeigt, daß dieser Wert jedoch bei weitem nicht ausreichend ist.

Die Erwartungshaltung an die Paßgenauigkeit des Gesamtobjektes und an die grazile Gestaltung der Verbindungsstellen ist in den letzten Jahren übermäßig hoch gestiegen und somit entsprechen die früher akzeptierten Reserven durch vielleicht etwas stabilere Konstruktionen heute nicht mehr dem Stand der Dinge. Dies stellt uns vor technisch sehr schwierige Aufgaben.

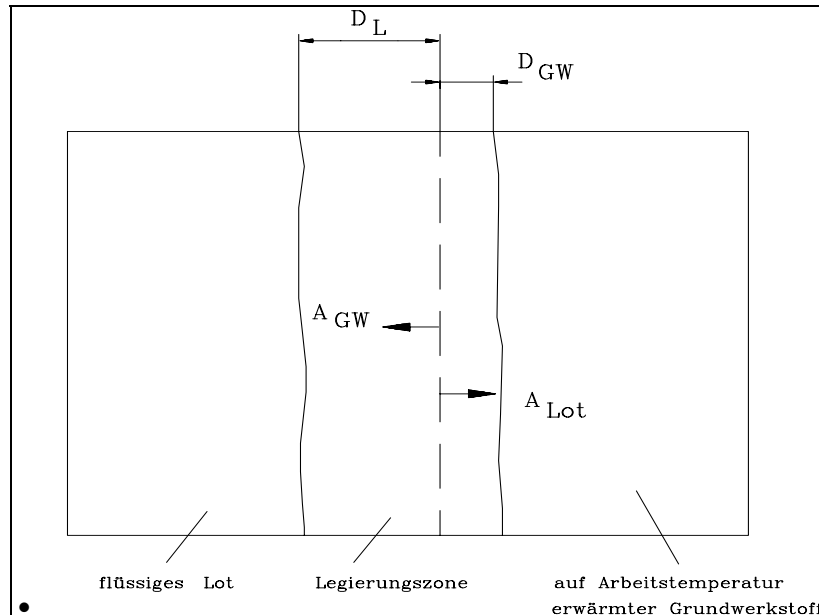
Mit gut abgestimmten Loten und Grundmaterialien ist es durchaus möglich, wesentlich höhere Zugfestigkeitswerte zu erreichen.



Versuchsserie mit Feinlotpaste 750. Lötungen Heliopan M an Heliopan M, ohne Einbettung.

Beim Anschmelzen eines Lotes an eine Lötfläche entsteht zunächst keine echte, metallische Verbindung, sondern lediglich ein mechanisches Anhaften bzw. Benetzen der Oberfläche. Besonders anfällig in unserem Bereich sind dabei chromhaltige und sonstige schnell oxidierende Materialien, sowie titanhaltige Werkstoffe. Es kann ein Mikrosplatt aus Oxiden verbleiben, der sich im aggressiven Mundmilieu durch elektrochemische Korrosion auflöst und die Lötung somit trennt. Typisches Beispiel hierzu ist eine nach einiger Tragezeit gelöste Retention oder Teleskopkrone mit schwarzem Belag auf der Lötstelle.

Von einer Diffusion kann dann gesprochen werden, wenn es im Kontaktbereich zwischen Grundwerkstoff und Lot zu einem Durchmischen der Materialien kommt. Es bildet sich dabei im Grenzbereich eine neue Phase (eine neue Legierung). Teilweise dringen Lotanteile in den Grundwerkstoff und Legierungsanteile des Grundwerkstoffes in das Lot ein. Die Solidustemperatur der Grundwerkstoffe wird hierbei aber nicht erreicht. Die Mischung kommt durch atomare Bindekräfte zustande (vgl. Knosp, dl 2/92).

Diffusionszone

D_L	Diffusionszone im Lot
D_{GW}	Diffusionszone im Grundwerkstoff
A_{GW}	Grundwerkstoffatome
A_{Lot}	Lot-Atome

Von größter Bedeutung ist, daß die verwendeten Materialien so zusammengesetzt sind, daß die Bildung einer nicht mundbeständigen neuen Legierung im Grenzbereich ausgeschlossen ist.

Während Lötungen an unseren hochgoldhaltigen Legierungen kaum noch Schwierigkeiten bereiten, scheint es bei den Modellgußlegierungen fast unmöglich, mit den gängigen Flußmitteln ein Auflösen von Oxiden und somit die bessere Benetzung der Oberfläche bzw. eine Diffusion zu erreichen.

Ist die Lotmenge übermäßig hoch und wird die Löttemperatur des Lotes über eine lange Zeitspanne gehalten, so vertieft sich die Diffusionszone von einigen hundertstel auf einige zehntel Millimeter. Es entsteht eine neue Legierung mit völlig veränderten Eigenschaften. Ein einfacher Versuch ist mit einem hochgoldhaltigen Gußwürfel und einem niederschmelzenden Silberlot möglich. Man wird erstaunt sein, wie tief das Lot in den Gußwürfel eindringen kann, wenn man die Wärmezufuhr lange genug aufrecht erhält.

Es ist bekannt, daß nicht jeder Werkstoff, vor allem in den verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten, in der Lage ist, eine Diffusion zuzulassen, sie ist aber in jedem Falle anzustreben, da sie grundsätzlich elektrochemisch stabiler ist, als das metallische Anhaften.

Aufbau der Lote:

In erster Linie entscheidet der Anwendungsbereich (d.h. der Aufbau der Grundlegierungen), die Arbeitstemperatur und die gewünschte Farbe die Zusammensetzung der Lote, wobei bestimmte Stoffe, wie z.B. Cadmium und giftige Schwermetalle wie Beryllium, bei Lötungen, die in der Zahntechnik Verwendung finden, grundsätzlich nicht enthalten sein dürfen.

Wie bereits in der Antike finden wir in fast allen in der Zahntechnik gebräuchlichen Lötungen auch heute noch als Hauptbestandteile Gold, Silber, Kupfer und verschiedene Metalle der Platingruppe, sowie zur besseren Benetzung und zum Einstellen der Arbeitstemperatur das Zink.

Die einzelnen Legierungsbestandteile der Lote sind in folgende Anwendungsgebiete unterteilt, wobei die Reihenfolge der Metalle den absteigenden Mengengehalt innerhalb einer Lotlegierung aufzeigt:

Goldgußlegierungen:

Gold, Silber, Kupfer, Zink und Platinmetalle.

Goldreduzierte Gußlegierungen:

Gold, Silber, Kupfer, Indium, Zink und Platinmetalle.

Kupferfreie Gold- Gußlegierungen:

Gold, Silber, Zink und Platinmetalle.

Silber-Palladium-Gold- Gußlegierungen:

Silber, Kupfer, Gold, Indium, Zink und Platinmetalle.

Aufbrennlegierungen:

Gold, Palladium, Kupfer, Indium, Zink.

sog. Stahlgoldlote für Kombinationslötungen EM/Co-Cr-Mo:

Gold, Nickel und Zink als Vorlote.

Gold, Silber, Kupfer, Indium, Mangan und Platinmetalle als Hauptlot.

Nichtedelmetallegierungen:

Nickel, Chrom, Molybdän und Eisen als hochschmelzendes Lot.

Gold, Silber, Nickel, Zink und Kupfer als niederschmelzendes Lot.

Die Auflistung der Lotbestandteile der einzelnen Anwendungsgebiete ist nur eine sehr grobe Einteilung.

Die einzelnen Legierungshersteller haben natürlich alle ihre eigenen Rezepturen. Die Beimengung sonstiger Metalle mit geringen Anteilen bleibt das Geheimnis jeder Scheideanstalt.

Wir können uns aber darauf verlassen, daß jedes neue 'Wunderprodukt', welches auf den Markt kommt, bereits morgen von den großen Scheideanstalten analysiert sein wird.

Warum eigentlich der kostspielige Umweg über die Analyse?

Flußmittel:

Bekanntlich muß zur Lötung mit der Flamme ein Flußmittel eingesetzt werden. Es hat die Aufgabe, entstandene Oxide wenn möglich zu entfernen und deren Neubildung zu verhindern. Die Neubildung von Oxiden wird durch den Ausschluß von Luftsauerstoff erreicht. Ohne Flußmittel perlt das Lot auf seiner Unterlage und kann nicht benetzen oder diffundieren.

In unseren heutigen Flußmitteln finden sich u.a. Verbindungen der Elemente Bor und Fluor, nämlich Borate und Fluoride.

Borate eignen sich bei Lötungen von Edelmetallen und Legierungen mit leicht löslichen Oxiden. Sie werden auch bei Lötungen nach dem keramischen Brand eingesetzt, da sie die Keramikmassen nicht angreifen. Verfärbungen der Keramikmassen durch borhaltige Flußmittel kommen nur zustande, wenn das Flußmittel verunreinigt wurde. Dies kann entweder durch uns im Labor geschehen oder bereits durch den Produzenten (durch den Zusatz von Färbe- und Bindemitteln). Auch die Reinheit der Borate ist von Bedeutung.

Ihre oxidlösende Wirkung ist allerdings begrenzt, wodurch schon klar wird, daß sie für Lötungen an edelmetallreduzierten Legierungen oder gar Palladiumbasislegierungen nur bedingt einsetzbar sind. Durch den Zusatz von Fluoriden kann zwar die Oxidlösung verbessert werden, gleichzeitig steigt jedoch die Gefahr, daß die Keramik Schaden nimmt. Für Lötungen an Modellgußlegierungen wird der Anteil und die Zusammensetzung der Fluoride wiederum erhöht bzw. verändert.

Beide Grundstoffe, die Borate und Fluoride sind zunächst transparent. Durch den Zusatz von Lösungs- und Bindemitteln sowie Farbstoffen erhalten sie ihr uns bekanntes Aussehen und ihre Konsistenz. Als Beispiel für Bindemittel kann Glycerin oder Vaseline genannt werden.

Alle Flußmittel sind nur über einen begrenzten Zeitraum in der Lage, eine erneute Oxidation zu vermeiden. Sie schmelzen bei ca. 400°C und beginnen später zu verdampfen.

Ein idealer Flußmittlersatz wäre ein Schutzgas wie z.B. Wasserstoff, Argon, Helium oder Stickstoff, welches eine von Luftsauerstoff freie Atmosphäre schafft und dadurch eine Oxidation unmöglich macht. Die Anwendung des Schutzgaslötens in der Zahntechnik scheint allerdings bislang nicht sinnvoll, da dieses bei der Flammenlötung nicht möglich ist. Es müssen stattdessen elektrisch beheizte Öfen eingesetzt werden muß.

Es muß einmal gesagt werden:

Flußmittel zählen aufgrund ihrer Zusammensetzung zu den gesundheitsgefährdenden Arbeitsstoffen!

Deshalb muß auf gute Belüftung des Raumes, in dem sie angewandt werden, unbedingt geachtet werden. Auch direktes Einatmen der Dämpfe muß ebenso vermieden werden wie der Hautkontakt oder der direkte Kontakt zu den Schleimhäuten, insbesondere sei auf die Gefahr von Augenverletzungen hingewiesen.

Im Falle des Falles muß unbedingt ein Arzt aufgesucht werden, um gesundheitliche Spätfolgen vorzubeugen.

Zu jedem Flußmittel gibt es beim Hersteller ein Sicherheitsdatenblatt mit den Gefahrstoffen, den Vorsichtsmaßnahmen und den eventuell zu treffenden Maßnahmen.

Bedauerlicherweise ist nicht jeder Hersteller, auch nicht nach mehrfacher Rückfrage, willens oder in der Lage uns diese Information auszuhändigen. Ich meine, wir Zahntechniker sollten die Hersteller zur lückenlosen Information zwingen - unserer Gesundheit zuliebe.

Manche oxidhemmenden Mittel dürfen nicht einmal durch die Post versandt werden, da sie in entsprechender Menge ein Gefahrgut darstellen und die Post kein solches befördern darf. Die Praxis sieht allerdings ganz anders aus.

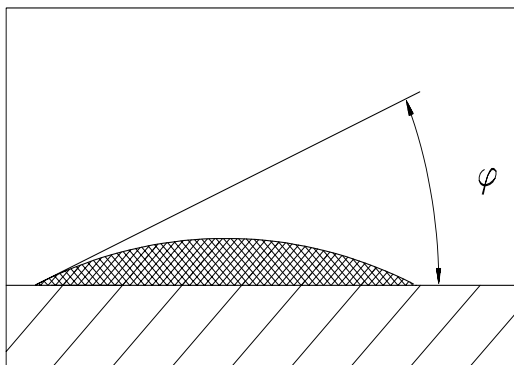
Benetzung:

Eine wesentliche Voraussetzung für den Lötvorgang bildet die Benetzung des Grundwerkstoffes durch das geschmolzene Lot. Das bedeutet, daß ein geschmolzener Tropfen Lot sich unter Vergrößerung seiner eigenen Oberfläche darauf ausbreitet. Dabei bilden sich aus Lot und Grundwerkstoffen Mischkristalle oder intermediäre Phasen. Nur ineinander nicht legierbare Metalle sind (- jedenfalls nicht ohne weiteres) nicht lötbar.

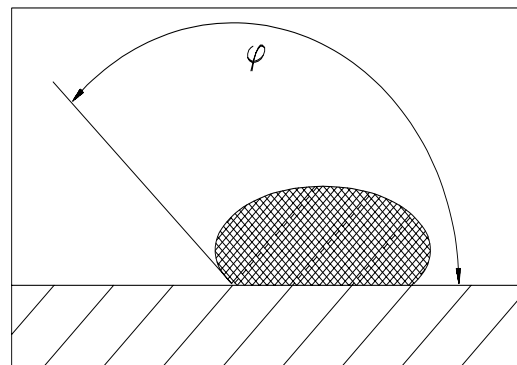
Dieser Vorgang ist nicht reversibel. Der Lottropfen kann seine ursprüngliche Kugelform nicht wieder annehmen. Das durch Abkühlen erstarrte Lot haftet fest auf dem Untergrund.

Ein Maß für die Benetzbarkeit ist der Winkel, den das Lot nach dem Aufschmelzen und wieder abkühlen mit dem Grundwerkstoff bildet. Bei völliger Unbenetzbarkeit wäre dieser Winkel 180° , d.h. die Lotkugel hätte keinerlei Verbindung zu Ihrer Unterlage.

Meßreihen haben ergeben, daß ein gutes Benetzungsvermögen dann gegeben ist, wenn dieser Winkel kleiner als 20° ist. Grundsätzlich gilt: Je kleiner der Winkel, desto besser die Benetzung.



Benetzung: gut
Lötung: gut



Benetzung: schlecht
Lötung: schlecht

Beeinflusst wird die Benetzbarkeit von einer ganzen Reihe von Kräften. So hat jeder Stoff eine Grenzflächenspannung, die wir im allgemeinen als Oberflächenspannung bezeichnen. Auch die Schwerkraft bzw. Erdbeschleunigung, die Kapillarwirkung und die Legierungszusammensetzung spielen beim Lötvorgang eine Rolle (vgl. Knosp, dl 2/92).

Eine Bindung erfolgt nur dann, wenn die Temperatur an der Lotstelle größer ist als die Arbeitstemperatur des Lotes, wobei die Solidustemperatur des Grundwerkstoffes nicht erreicht wird, und wenn das Lot den Grundwerkstoff benetzt.

Oberfläche:

Um eine optimale Benetzung zu erreichen, muß die Oberfläche sauber, fett- und oxidfrei sein. Auch die Art des Anschliffes der Oberfläche spielt für eine Lötung eine wichtige Rolle.

Die Oberfläche soll auf keinen Fall glatt poliert sein, denn durch diese Politur 'schwimmt' das Lot auf der Oberfläche. Die Diffusionszone wird durch die starke Verdichtung der Oberfläche, die durch die Politur entstanden ist, extrem dünn sein.

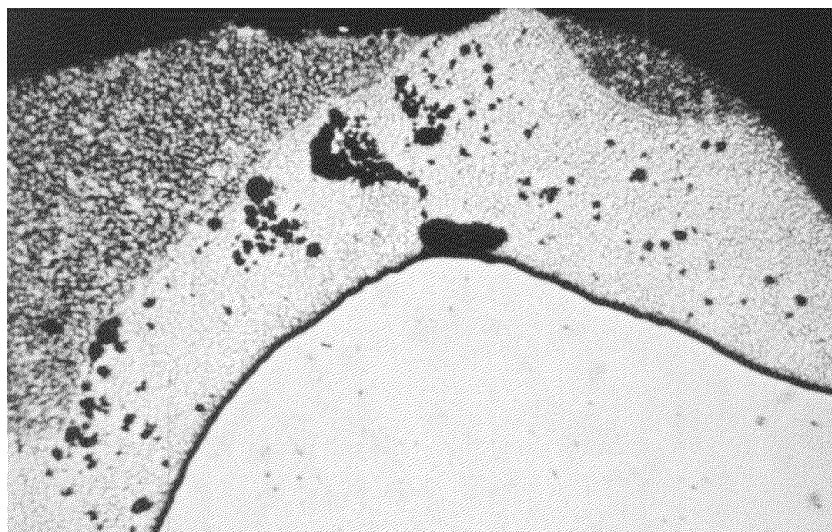
Die Lötfläche soll bis über ihre Grenzen hinaus in der Richtung beschliffen bzw. angeraut sein, in der das Lot später fließen soll.

Die Rauftiefe durch den Anschliff bringt eine zusätzliche Vergrößerung der Oberfläche, dadurch mehr mechanische Retention und eine ebenfalls vergrößerte Lötfläche. Als Schleifkörper für die Vorbereitung einer zahntechnischen Lötung eignen sich am besten grüne Carborundumsteinchen, da diese einen relativ starken Verschleiß haben, dadurch wenig Wärme erzeugen und eine gleichmäßig fein angeraute Oberfläche erreicht wird.

Sandstrahlen der Oberfläche bringt zwar theoretisch den besten Effekt, jedoch hat sich in der Praxis gezeigt, daß insbesondere bei Cobalt-Chrom-Legierungen eher ein schlechteres Fließverhalten des Lotes die Folge ist.

Die Grenzflächen der beiden zu verlötenden Formstücke müssen möglichst parallelwandig, d.h. mit gleichmäßigem Abstand zueinander gestaltet sein. Ungleichmäßiger Abstand des Lötspaltes kann zu Formfüllungsfehlern führen.

Formfüllungsfehler sind nicht mit Lunkern zu vergleichen, da sie keine Schädigung des Lotmaterials darstellen, sondern lediglich einen Hohlraum innerhalb des Lotes. Sie schwächen die Lötverbindung aber in jedem Fall. Schon aus diesem Grund sollte eine Lötung etwas größer konstruiert sein, als es nach den statischen Bedürfnissen erforderlich ist.



Lötspalt:

Die lötgerechte Konstruktion jeder Verbindungsstelle ist primär von ihrer Aufgabe abhängig.

Es sind deutliche Unterschiede bei der Lötung von Kronen an Kronen oder Kronen an Brücken oder an Modellguß festzustellen. Die Haltbarkeit einer Lötung wird in höchstem Maß von der Konstruktion beeinflusst.

Für Lötungen von Kronen an Kronen und Kronen an Brücken aus Edelmetall gelten die klassischen, in zahlreicher Literatur dokumentierten Ansichten nach wie vor. Es kann entsprechend den anatomischen Bedürfnissen modelliert und an den Approximalflächen verlötet werden. Die Verbindungsstelle soll der Belastung entsprechend ausreichend dimensioniert sein. Als Regel gilt eine Fläche von mindestens 3 mm^2 bei kleinen Brückenspannen und 5 mm^2 bei größeren.

Für zahntechnische Lötungen jeder Art gilt:

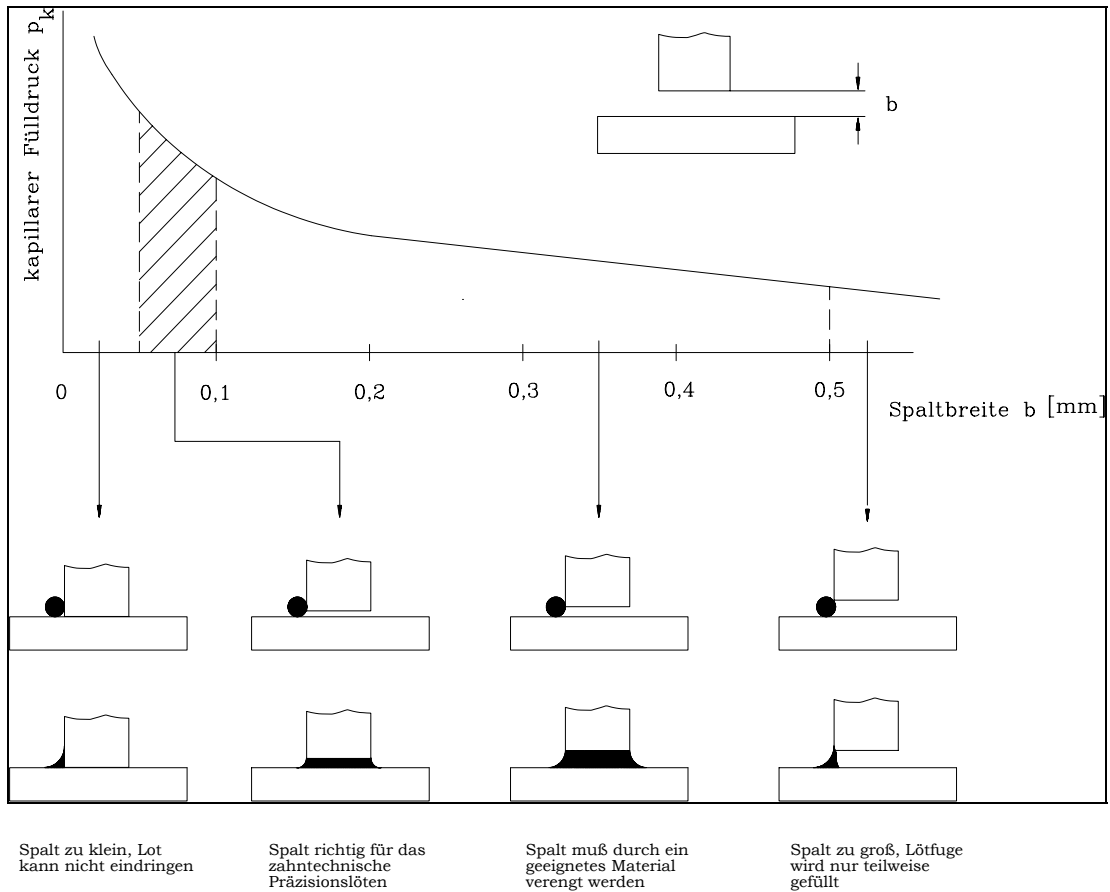
Der Lötspalt soll möglichst klein sein. Eine Spaltbreite von mehr als 0,1 mm ist in der Zahntechnik weniger geeignet, da das Lot beim Abkühlen stärker kontrahiert als sich der Lötblock und das Werkstück beim Erwärmen ausdehnt. Eine verkürzte Länge wäre die Folge. Ferner können bei zu breitem Lötspalt durch die feste Schwindung der größeren Lotmenge Porositäten auftreten und damit die Verbindungsstelle schwächen. Unedle Lotbestandteile diffundieren in das Grundmaterial, wodurch die Lötstelle bei kleinerer Spaltbreite stabiler wird.

Auch auf Kontakt gearbeitete Lötstellen lassen eine Kapillarwirkung zu. Der Lötblock und das Lötobjekt dehnen sich durch Erwärmung aus und der Lötspalt wird dadurch erweitert. Beim Abkühlen kann das Objekt nicht weiter kontrahieren als es expandiert hat und der Kontakt wird wieder erreicht.

Ist der Lötspalt größer als 0,1 mm, muß er durch Einlegen eines Blechstücker oder höherschmelzenden Lotes verkleinert werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine Brücke aus irgendeinem Grund getrennt werden mußte. Spaltbreiten von mehr als 0,2 mm sind für unsere Aufgaben gänzlich ungeeignet, da sie mit unseren Materialien und Geräten nahezu keinen kapillaren Fülldruck mehr zulassen.

Die ideale Spaltbreite für eine dauerhafte, mundbeständige Lötung mit dünnfließenden Loten beträgt meiner Ansicht nach **0,05 mm**.

Kapillarer Fülldruck



Der Kapillare Fülldruck P_K ist in Abhängigkeit von der Spaltbreite b (schematisch).

Fixierung der Einzelteile:

Vor dem Herstellen eines Lötblockes müssen die zu verlötenden Einzelteile mit geeigneten Mitteln lagerichtig fixiert werden.

Als **geeignete Mittel** sind in erster Linie **schrumpungsarme, rückstandslos verbrennende Wachse** zu nennen. Auch sehr geringe Mengen Modellierkunststoff können noch geeignet sein. Oft hilft auch ein Gipsschlüssel aus Abdruck- oder Artikulationsgips oder ein festgewachster Metallstab zur lagegenauen Fixierung der Einzelteile. Diese Materialien lassen sich vor der Erwärmung des Lötblockes restlos entfernen und der Lötspalt kann gesäubert und mit Flußmittel und ggf. Lot beschickt werden.

Klebewachse sind nur bedingt geeignet. Sie sind meistens sehr zähfließend und können somit selten in einen feinen Lötspalt eindringen. Viele Klebewachse mit hoher Klebekraft enthalten Kolophonium und sind somit gänzlich ungeeignet, da Kolophonium nicht rückstandslos verbrennt. Speziell für die Gußtechnik hergestellte Klebewachse ohne Kolophonium haben eine stark herabgesetzte Klebewirkung. Alle Klebewachse haben gegenüber den Gußwachsen eine deutlich höhere Schrumpfung und können somit zu Fixierungsfehlern führen.

Cyanacrylatkleber, gleichgültig ob flüssig oder pastös, hinterläßt unter ungünstigen Voraussetzungen eine Asche im Lötspalt, die eine einwandfreie Lötung verhindert. Der Zersetzungsprozess beim Aufheizen eines solchen Klebers scheint die Oxidation zu fördern. Abgesehen davon entstehen beim Ausbrennen des Klebers giftige Dämpfe.

In größeren Mengen aufgetragene Modellierkunststoffe sind ebenso ungeeignet wie selbsthärtende Prothesenkunststoffe, da diese Materialien nicht nur Verunreinigungen zurücklassen können, sondern auch aufgrund ihrer spezifischen Polymerisationsschrumpfung bereits die Fixierung deformieren können. Man bedenke, wie stark sich die Schrumpfung bei der Totalprothese auswirkt!

Lichthärtende Verblockungs- oder Modellierkunststoffe hinterlassen beim Verbrennen oft ebenfalls Rückstände.

Allen harten Verblockungsmaterialien ist eines gemeinsam - sie müssen durch Ausbrennen entfernt werden. Dabei quellen oder schäumen sie auf und deformieren die Fixierung erneut. Ein anschließendes Reinigen des Lötspaltes ist nicht mehr möglich, ohne die Lötmasse zu schädigen. Viele dieser Kunststoffe werden zunächst vom Lötblock aufgesogen, bevor sie wieder verdampfen. Ebenso ist es nicht möglich, Flußmittel vor der Erwärmung im Lötspalt zu plazieren, was zur Folge hat, daß das Flußmittel zunächst nur an den Rändern der Lötspaltes zu finden ist, während der Lötspalt oxidiert.

Ob ein Fixierungsmaterial geeignet ist, kann man in einem einfachen Test selbst herausfinden:

Man legt eine kleine Menge des vorgesehenen Materials auf ein Stück Platinfolie und verbrennt es bei ca. 650°C ohne Vakuum im Keramikofen. Bleibt ein Rückstand, und sei er noch so gering, sollte man das Material nicht zur Fixierung von Werkstücken für eine Lötung verwenden.

Ich bevorzuge in meinem Betrieb eine Wachsfixierung, stabilisiert mit einem Metallstab. Als Wachs wird braunes, organisches Ästhetikwachs der Firma Schuler verwendet. Es fließt gut, hat ausreichende Klebewirkung und ist aufgrund seiner Farbe auch in dünnen Schichten gut erkennbar. Beim Säubern des Gerüsts und des Lötsockels können auch geringe Rückstände noch erkannt werden.

Der gesamte Bereich der Lötstelle muß großzügig ausgeblockt werden, damit der Lötspalt mit der Flamme 'durchspült' werden kann.

Lötmodell:

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Materialien, um ein Lötmodell herzustellen. Am häufigsten wird hierzu der Lötgips, also eine gipsgebundene Löteinbettmasse, verwendet. Alle Lötgipse unterscheiden sich nur wenig in ihrer Zusammensetzung. Lediglich die Korngröße der Bestandteile und deren Mischungsverhältnis ergeben Veränderungen der Eigenschaften. Für welches Material man sich entscheidet, hängt wohl von der eigenen Erfahrung ab.

Vermehrt finden auch phosphatgebundene Einbettmassen Anwendung. Auch die feuerfesten Einbettmassen zur Stumpfherstellung lassen sich hierfür erfolgreich zweckentfremden.

Alle Einbettmassen, gleichgültig ob sie zum Guß, oder zur Lötung verwendet werden, benötigen eine sorgfältige Behandlung. Genau hier fehlt es allerdings an der notwendigen Sorgfalt. Wenn wir ehrlich sind, müssen wir zugeben, daß wir hier einiges falsch machen. So werden weder die vom Hersteller empfohlenen Mischungsverhältnisse, noch die Aufheizzeiten eingehalten. Wer hat schon einmal den Lötgips und das Wasser abgewogen, bzw. abgemessen? Wer verwendet destilliertes Wasser zum Anmischen? Wird ein computergesteuerter Vorwärmeofen verwendet? Die Wahrheit ist: Kaum ist der Lötgips hart wird er auch schon mit der Flamme traktiert - oft wird nicht einmal dies abgewartet. Ehrlich gesagt, das kommt auch in meinem Labor gelegentlich vor.

Kaum ein Kollege wird heute eine Gußmuffel in den 700° heißen Ofen stellen. Aber der Löteinbettmasse wird dies bedenkenlos zugemutet. Spannungsrisse und Verglühungen sind die Folge. Die verlötete Arbeit kann nicht passen.

Ein Lötblock sollte ähnlich schonend wie eine Gußmuffel, möglichst bis nahe an die Arbeitstemperatur des Lotes heran, vorgewärmt werden. Die Wärmezufuhr während des Lötvorganges ist dann nur noch gering und eine punktförmige Überhitzung fast ausgeschlossen. Nur dann ist es möglich, eine spannungsfreie Lötung herzustellen, da der Lötblock gleichmäßig mit dem Gesamtobjekt expandiert und, langsamen abgekühlt, wieder gleichmäßig kontrahiert.

Trotzdem lassen sich Spannungsrisse nicht vermeiden, da die Löteinbettmassen im Gegensatz zu Metallen keine lineare Ausdehnung, bzw. Kontraktion haben.

Auch die Abmessungen des Lötmodelles sind von entscheidender Bedeutung. Während bei Goldlötungen, wie z.B. bei einer Lötung vor dem Brand ein kleiner Lötblock angezeigt ist, ist bei einer Flammenlötung nach dem Brand ein großes Lötmodell erforderlich, um möglichst viel Wärme zu speichern. Bei Ofenlötungen empfiehlt sich wiederum ein möglichst kleiner Lötsockel auf 'Stelzen', da unsere Keramiköfen nicht genügend Energie zur Verfügung stellen, um ein großes Lötmodell aufzuheizen. Gleichgültig, welche Form ein Lötblock hat, es muß gewährleistet sein, das die Wärmequelle ungehindert und möglichst ohne große Ablenkung das Lötobjekt erwärmen kann. 'Pfahlbauten' leisten hier oft gute Dienste.

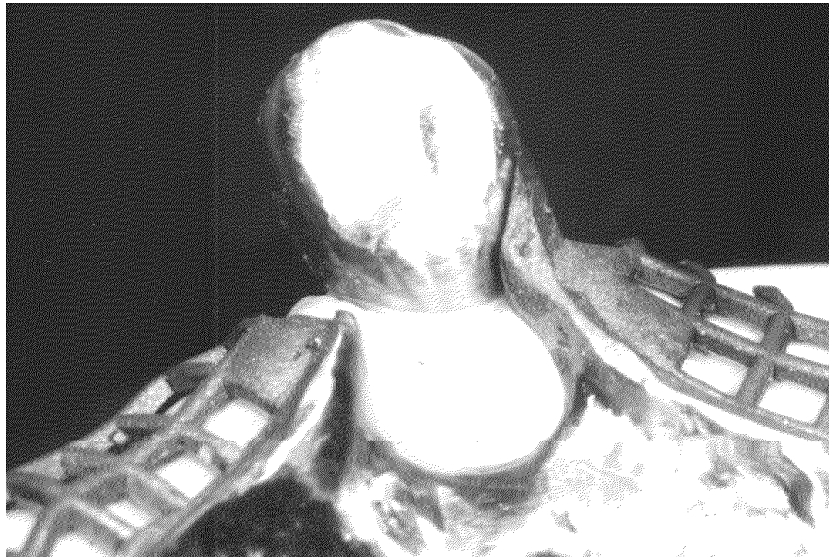
Die oben beschriebene, langsam aufgeheizte Lötung hat allerdings einen entscheidenden Haken - es kommt oft zu übermäßiger Oxidbildung, die durch Flußmittel verhindert werden muß. Bei Lötungen von NEM-Legierungen funktioniert ein derartiges Aufheizen schon gar nicht, da es kein Flußmittel gibt, welches in der Lage ist, eine Oxidation unedler Legierungsbestandteile langfristig zu verhindern. Ist es nicht sinnvoll, insbesondere bei diesen Legierungen, ganz auf den Lötblock zu verzichten?

Fixierung von Modellgußteilen:

Lötungen an Modellgußlegierungen waren bisher immer ein Problem (- und werden es vermutlich auch bleiben).

Aufgrund der Zusammensetzung der Legierungen neigen diese zur Oxidation. Die Oxidschicht ist nicht sichtbar und bildet sich bei Sauerstoffeinwirkung auch ohne Erwärmung. Hauptsächlich handelt es sich um das Oxid des Metalles Chrom. Es bildet sich eine passivierende Schutzschicht. Dies ist der Grund dafür, daß unsere Co-Cr-Legierungen als biokompatible und mundbeständige Legierungen gelten. Selbst in der Industrie wird als eine der dauerhaftesten Beschichtungen verchromt. Chrom wird industriell auch mit Nickel und Eisen legiert, um z.B. Kochtöpfe herzustellen (V4A-Stahl).

Gelingt es uns, die Oxidation der Modellgußlegierung während der Lötung zu vermeiden, dann erreichen wir mit dem richtigen Lot eine Diffusion am Modellguß. Jedoch wirkt sich die elektrochemische Spaltkorrosion bei den Kombinationslötungen aus Gold an Modellguß in jedem Falle aus. Es liegt also der Verdacht nahe, daß irgendwann jede dieser Lötverbindungen zerstört sein wird. Wir Zahntechniker kennen alle die Situation einer abgebrochenen Teleskopkrone, die bis zum Nachmittag wieder angelötet und mit einer neuen Verblendung fertig sein muß - eine kostspielige und zeitraubende Angelegenheit, vom Ärger mit dem Kunden und dem Patienten einmal ganz abgesehen. Wenn wir schon wissen, daß es so nicht funktioniert, warum tun wir dann nichts dagegen? Die flächige Lötung von Gold- an Modellgußlegierungen diene hier als das wohl einfachste Beispiel, wie man eine Sache falsch machen kann.



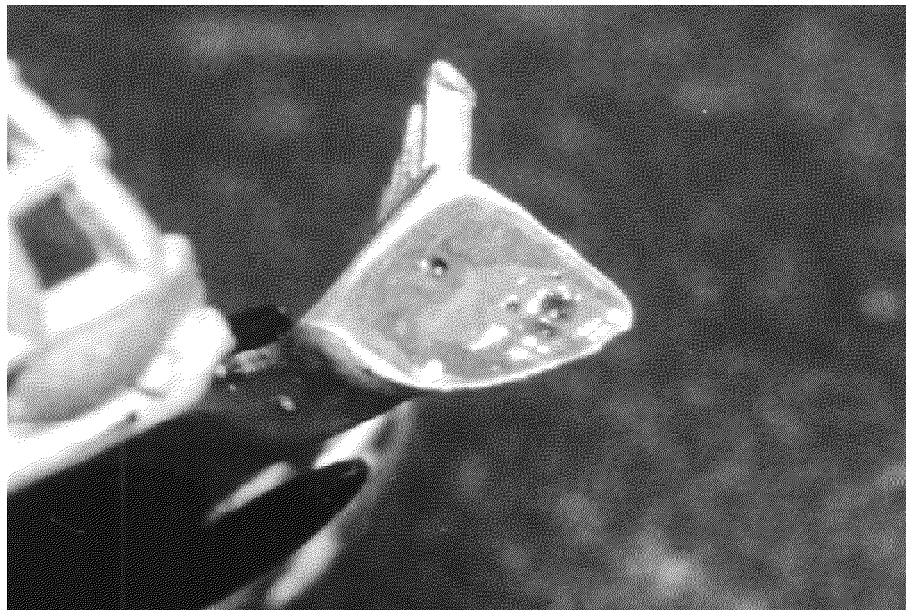
Flächige Lötung ohne Retention ist falsch

Auch Vorlöten ändert nichts, außer, daß das Modellgußteil nicht mehr richtig paßt und das Vorlot oft soweit zurückgeschliffen wird, bis nichts mehr drauf ist.

Vorlöten kann eigentlich schon deshalb nicht die Methode der Wahl sein, da neben der Goldgußlegierung, der Modellgußlegierung und dem Hauptlot dann auch noch als weiteres Lot eine vierte Legierung ins Spiel gebracht wird und damit die elektrochemische Spaltkorrosion weiter gefördert wird.

Es gibt heute genügend Lote, bei denen Vorlöten nicht mehr erforderlich ist und die trotz, oder gerade wegen ihrer relativ niedrigen Arbeitstemperatur stabiler und mundbeständiger sind, als hochschmelzende Lote. Zu dieser Feststellung gibt es eine Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen.

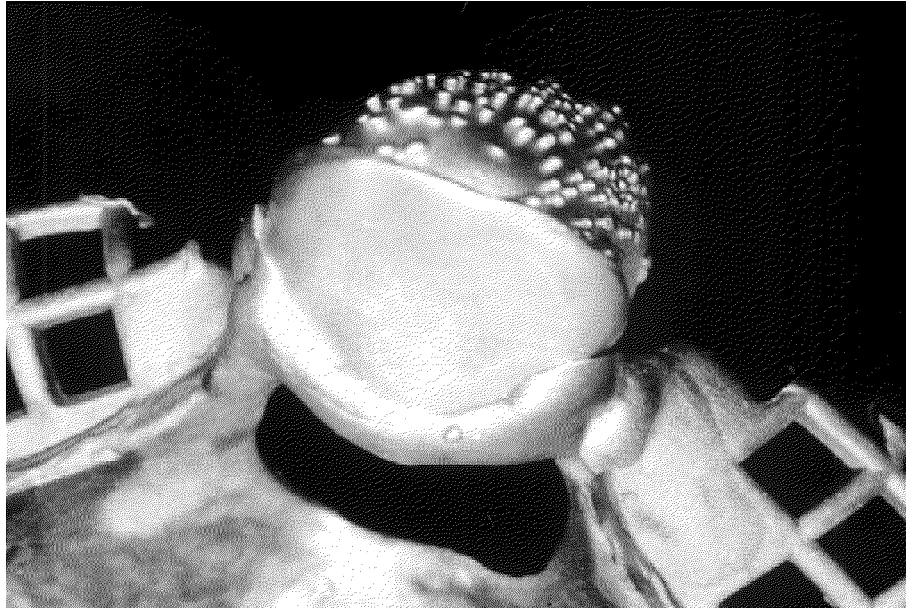
Darüber hinaus gelingt es fast nie, daß das Vorlot die Fläche ganz benetzt. Meistens sind die Ränder der Fläche frei und bilden somit nach der Hauptlötung Spalten.



Lote und Flußmittel können eine konkave Fläche nicht vollständig bedecken.

Beidseitig angebrachte flächige Lötungen bringen wenigstens den Erfolg, daß die gesamte Konstruktion nicht gleich ganz auseinander fällt. Der Patient kommt mit der Reparatur dann am Montag, nicht schon am Freitag. Die Ursache ist darin zu suchen, daß während der Vorlötung an der ersten Lötstelle die zweite durch Wärmestrahlung schon soweit oxidiert ist, daß eine erfolgreiche Lötung nicht mehr möglich ist.

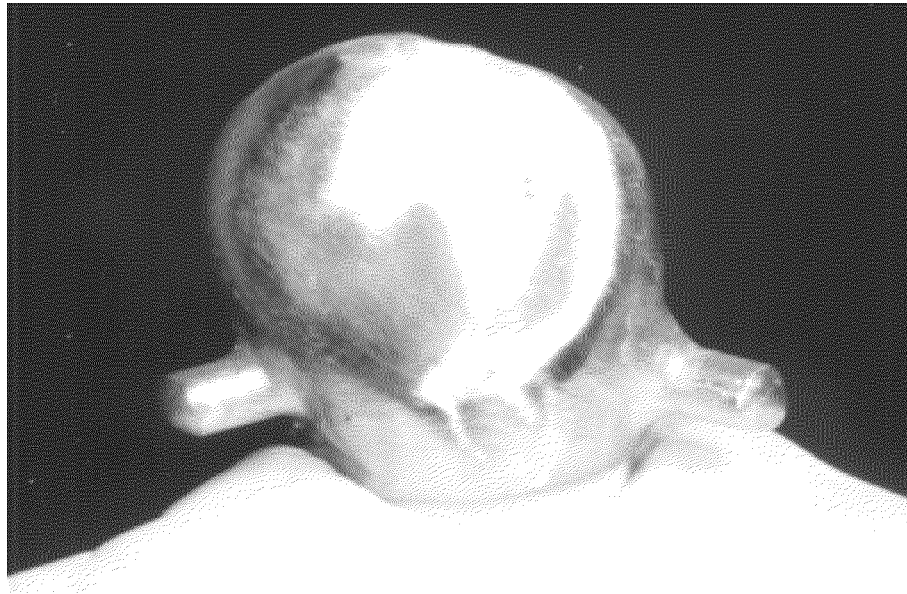
Wird die Auflagefläche des Modellgußteiles als Kragenfassung um eine Edelmetallkrone herum vergrößert erreichen wir damit einen ähnlichen Effekt wie bei der oben angesprochenen bilateralen Lötung. Vorlöten ist bei einer so großen Auflagefläche nicht mehr deckend möglich. Die anatomische Form und die eingeschränkte Parodontienfreiheit sind nicht akzeptabel. Mangelhaft benetzte Übergänge fordern eine Korrosion geradezu heraus.



Kragenfassungen fördern die Korrosion und decken das Parodontium ab.

Sicherlich vermag diese Verbindungsstruktur einen geringfügigen Erfolg aufweisen, denn schon allein durch die vergrößerte Lötfläche dauert die Spaltkorrosion entsprechend länger. Ich habe jedoch grundsätzlich meine berechtigten Zweifel, nicht zuletzt aufgrund eigener, schlechter Erfahrungen.

Aus der Erkenntnis heraus, daß aus einer vergrößerten Lötfläche auch eine längere Haltbarkeit resultiert, ist der Schluß naheliegend, die Lötstelle mit mechanischen Retentionen zu versehen und diese dann mit Lot aufzufüllen. Leider ergeben sich daraus Formfüllungsprobleme, da wir weder mit unserer Flamme, noch mit dem Flußmittel direkt an die Retentionen kommen, weil diese in jedem Falle vom Lötblock abgedeckt werden. Daß dies nicht als der Weisheit letzter Schluß zu bezeichnen ist, versteht sich von selbst. Ich muß jedoch zugeben, daß ich auf diese Weise einige Jahre versucht habe, den üblichen Problemen in der Kombinationslötung Herr zu werden.



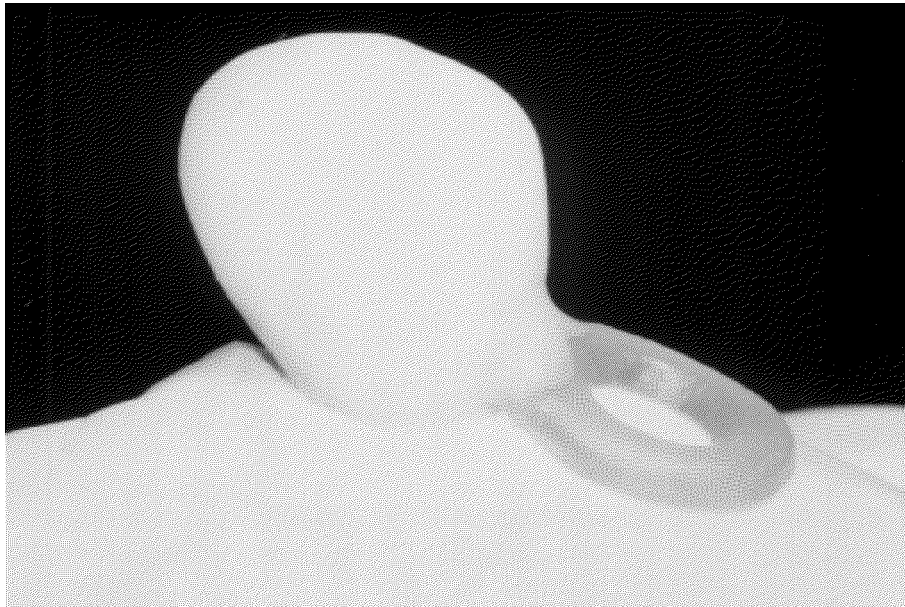
Der Lötblock verhindert einen freien Zugang zu innenliegenden Lotstellen.

Nach diesen Erfahrungen kam ich vor mehr als 10 Jahren zu dem Schluß:

Der Lötblock muß weg!

Wir müssen eine Verbindungsstelle schaffen, die ausreichend dimensioniert ist, um sie mit dem Punktschweißgerät oder dem moderneren Impulsfixator verschweißen zu können. Diese Verbindung muß so stabil sein, daß die gesamte Konstruktion abgehoben werden kann und auch die Primärteile gelöst werden können.

Eine Möglichkeit, die sich von Anfang an bewährt hat, ist es, mit einem Ring eines Wachsprofiles einen Appendix an die zu verlötende Krone zu befestigen. Auf diesen Ring wird später ein zweiter an das Modellgußgerüst modelliert. Die beiden Ringe sind deckungsgleich und ermöglichen einen guten Zugang mit der Kupfer- oder Wolframelektrode des Punktschweißgerätes.



Ringretention zum Schweißen vor dem Löten.

Diese Befestigung eignet sich insbesondere für Teleskop- und Ankerbandkronen im Molarenbereich, da hier in der Regel genügend Platz vorhanden ist. Für den Frontzahnbereich ist diese Konstruktion leider oft zu voluminös.

Wesentlich graziler und dennoch gleich effektiv ist es, an das entsprechende Edelmetall-Sekundärteil eine horizontale Fläche von etwa 2 mm Durchmesser zu modellieren. Auf diese Fläche wird ein Wachsstift mit einem Durchmesser von 1,5 mm und ebenfalls 1,5 mm Länge aufgesetzt.



Grazil und trotzdem stabil, ein Zapfen zum Verschweißen.

Nach dem Guß wird das Modellgußgerüst über diesen Ausleger passgenau aufgearbeitet. Wenn der Edelmetallstift mit dem Modellgußgerüst verschweißt ist, kann die Konstruktion ohne Deformation vom Modell abgehoben werden.

Es empfiehlt sich zur zusätzlichen Stabilisierung bei beiden vorgeschlagenen Konstruktionen, vor dem Lösen der Primärteile auf der Unterseite einen zweiten Schweißpunkt zu setzen.

Der Schweißvorgang selbst erfordert etwas Übung. Die sicherste Verbindung erhalten wir, wenn wir mit unserem Punktschweißgerät nicht mit dem Impulsstrom, sondern mit dem Dauerstrom auf mittlerer Stärke arbeiten. Eine Elektrode muß dazu auf dem Objekt aufgelegt werden, die andere bei eingeschaltetem Strom auf den gewünschten Punkt geführt und sofort wieder abgezogen werden. Auf diese Weise wird mit lautem Knall ein Lichtbogen gezündet, der einen Schweißpunkt von ca. 1 mm Durchmesser setzt.

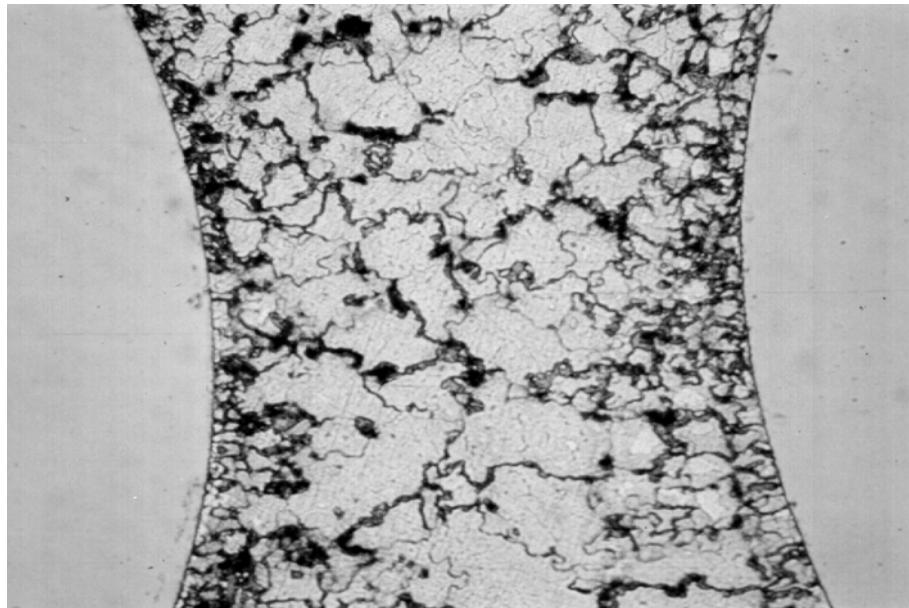
Die Schweißung ist stabil genug, um Primär- und Sekundärteile mit der Teleskopzange, dem Niethammer oder sonstigem Werkzeug zu lösen. Es versteht sich von selbst, daß hierzu die verschweißte Konstruktion am Sekundärteil und nicht am Modellguß gehalten wird.

Die anschließende Lötung ohne Vorlot wird mit einem Stahl-Goldlot, das in einem Arbeitstemperaturbereich von ca. 700°C bis 800°C liegt, durchgeführt.

Da diese Vorgehensweise durch die reduzierten Wartezeiten sehr schnell und rationell ist, können die Lötungen einzeln durchgeführt werden, wodurch wir zusätzliche Sicherheit erhalten. Spannungen auch großer Gerüste werden auf ein akzeptables Minimum reduziert und werden meistens durch Fixierungsfehler hervorgerufen.

Die Lötungen werden nicht nur optisch deutlich besser. Auch durch Schlibfbilder und Zugversuche läßt sich dieser Eindruck belegen. Es zeigt sich, daß eine wesentlich homogenere Lötstelle vorliegt. In vielen Fällen ist es gelungen, eine eindeutige, wenn auch dünne, Diffusionszone nachzuweisen. Die Übergänge zwischen den einzelnen Legierungen sind besser benetzt, wodurch die Gefahr einer Spaltkorrosion erheblich reduziert wird. Auch die Wahrscheinlichkeit einer Überhitzung und Schädigung der Edelmetalllegierung wird durch die bessere Flammenführung reduziert.

Es kann also sichergestellt werden, daß, wenn wir schon nicht in der Lage sind, eine Zerstörung der Lötstelle auf Zeit und Ewigkeit zu vermeiden, es trotzdem möglich ist, die Lötung über die Tragezeit der Prothese hinaus zu retten.



Diffusionszone zwischen Modellußlegierung und Lot.

Brenner und Flammenführung:

In der Zahntechnik werden hauptsächlich Propangasbrenner mit Druckluft oder Sauerstoff, sowie Hydrozonlötgeräte angewendet. Mit diesen Geräten läßt sich eine recht saubere Flamme erzeugen.

Brenngase, wie z.B. Erdgas, enthalten einen je nach Gaswerk mehr oder weniger großen Schwefelzusatz, der als Geruchsstoff beigefügt wird und u.U. auf unsere Einbettmasse oder unseren Lötgips einwirkt.

Die Wahl des richtigen Brenners und des Brenngases ist eine der Grundvoraussetzungen einer guten Lötung. So ist wohl jedem klar, daß es ein gewisses Risiko darstellt mit einer spitzen, scharfen Flamme eine Lötung nach dem keramischen Brand durchzuführen. Dies muß zu Spannungen und somit zu Sprüngen in der Keramik führen.

Für diese Aufgabe eignet sich am besten ein **Brausekopfbrenner**, der eine sehr weiche Flamme erzeugt. Die Flamme sollte so groß sein, daß das gesamte Lötmodell gleichmäßig und vor allem langsam erwärmt werden kann. Die besten und sichersten Ergebnisse sind für diese Anwendung mit Propan und Druckluft zu erreichen.

Für die Lötung von Goldgerüsten eignen sich ebenfalls **Propan - Druckluft Brenner**, da sie ausreichende Wärmeentwicklung garantieren und aufgrund ihrer maximal erreichbaren Temperatur von ca. 1900°C selten zu Defekten an den Gerüsten führen. Einen besonders handlichen Brenner finden wir bei den Goldschmieden. Er hat einen kleinen Brausekopf und einen Regler, der nach Bedarf die Druckluftzufuhr regelt. Brenngas- und Druckluftregler sind mit einer Hand bedienbar.

Bei Lötungen von Aufbrenngerüsten empfiehlt sich der Einsatz eines **Propan/Sauerstoff Brenners**, da die Wärmezufuhr mit Hilfe des zuvor beschriebenen Brenners nicht mehr ausreicht. Bei diesem Brennertyp lassen sich Temperaturen bis 2900 °C erreichen. Gut eignen sich für diesen Zweck Brenner mit Nadeldüsen. Diese Düsen gibt es in verschiedenen Durchmessern, mit denen auch große Flammen erzeugt werden können.

Mit **Nadeldüsenbrennern** lassen sich auch Modellgußlötungen und Kombinationslötungen mit Edelmetall an CO-CR-Legierungen sehr gut durchführen. Sie erlauben eine punktförmige Lötung und erhitzen den umliegenden Bereich nicht zu sehr. Insbesondere für angrenzende Kunststoffteile ist dies von Vorteil.

Hydrozonlötgeräte arbeiten ebenfalls mit **Nadeldüsenbrennern**. Sie haben die sauberste Flamme und sind sehr gut geeignet, um feinste Lötungen durchzuführen. Für größere Düsen reicht oft die Leistung der Geräte nicht aus. Das Brenngas wird in diesen Geräten durch elektrolytisches Aufspalten von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt. Die Flamme ist für zahntechnische Anwendungen nach meiner Ansicht eigentlich viel zu heiß.

Lote streben im flüssigen Zustand der Wärmequelle zu. Diesen Umstand sollte man beim Führen der Flamme berücksichtigen.

Bei Gerüsten aus Gold- und Aufbrennlegierungen ist es ratsam, zunächst mit der Flamme auf einer Seite der Lötstelle etwas Lot zu plazieren und anschließend von der anderen Seite weiter zu erwärmen. Das Lot fließt dann, den Lotspalt passierend zur Wärmequelle. Fehlendes Lot wird von der gegenüberliegenden Seite in das noch flüssige Lot nachgelegt. Eine Überhitzung des Lotes ist so fast ausgeschlossen.

Bei Nichtelegmetallen, wie z.B. Modellgußlegierungen, funktioniert diese Methode leider nicht, da es sehr schnell zur Oxidation der Legierung kommt. Darüber hinaus machen wir bei der Modellgußlötung häufig flächige Lötungen, wie z.B. beim Anlöten einer Retention. Es ist deshalb ratsam, die Lötung so schnell wie möglich durchzuführen. Diese Legierungsgruppe ist wesentlich unempfindlicher gegen Überhitzen als Edelmetalllegierungen, wodurch ein schnelles Aufheizen möglich ist.

Das Flußmittel soll auf den Lötbereich sparsam aufgetragen und langsam erwärmt werden, bis die Bläschenbildung vorüber ist.

Je schneller eine Aufheizung stattfindet, desto schlechter ist sie zu kontrollieren. Erreicht die Temperatur einen kritischen Punkt, ist die Legierung so nachoxidiert, daß eine Benetzung mit Lot nicht mehr stattfinden kann. Aus diesem Grund sollte ein Lotstreifen bereits vor dem Aufheizen in den Bereich der Lötung aufgelegt werden. Dieser Lotstreifen benetzt die Oberfläche, wenn die Löttemperatur erreicht ist. Er dient uns als Signal und wir können zum richtigen Zeitpunkt die benötigte Menge Lot nachlegen. Die meisten Flußmittel für Modellgußlegierungen sind von brauner Farbe, was diese visuelle Kontrolle beeinträchtigt.

Leider ist oft festzustellen, daß der Unterschied zwischen Gold- und NEM-Lötungen nicht beachtet wird. Das Resultat ist, daß das Lot nur auf einer Oxidschicht "pappt" und die Lötung nach kurzer Zeit aufgeht.

Sollte das Lot bei einer NEM-Lötung nicht richtig fließen, muß sofort unterbrochen, die Einzelteile wieder gesäubert und erneut fixiert und verlötet werden. Nur so lassen sich lästige Spätfolgen vermeiden.

Löten von Keramikarbeiten:

Bei der Lötung von keramisch verblendeten Rekonstruktionen gehen die Meinungen am weitesten auseinander. Jeder hat sein eigenes Verfahren mit mehr oder weniger gleichbleibendem Erfolg. Die einen heben die vermeintlich bessere Ästhetik hervor, die anderen verweisen auf die höhere Präzision.

Die Ofenlötung:

1. Methode:

Die meisten Lötungen an keramischen Arbeiten werden im Keramikofen durchgeführt. Wir erhalten im Keramikofen ein nahezu gleichmäßig und bei langsamer Aufheizgeschwindigkeit auch schonend aufgeheiztes Objekt. Die Lötung kann unter Vakuum durchgeführt werden, wodurch weniger Flußmittel benötigt wird und eine homogene Lötstelle erzielt werden kann. Richtig vorbereitet können mehrere Lötungen auf einmal durchgeführt werden.

Verblockt werden die einzelnen Kronen- oder Brückenteile mit Wachs. Abbrennen von Fixierungskunststoffen etc. ist nicht möglich. Vor dem Herstellen des Lötsockels müssen alle Keramikanteile ebenfalls mit Wachs abgedeckt werden, da anhaftende Lötteinbettmasse eine Verbindung mit der Keramik eingehen kann. Die beste Wärmeführung erreichen wir mit sog. "Pfahlbauten", bei denen die zu verlötenden Teile frei von der Unterlage auf Brenngutträgerstiften aufgebaut sind. Die Kronen werden zunächst mit Lötteinbettmasse aufgefüllt und die Stifte in die noch weiche Masse eingesetzt. Nach dem Aushärten der Stümpfe werden die Stifte in einen Sockel eingebettet. Bei Einzelkronen müssen die runden Stifte an beiden Enden abgeflacht werden, damit sich die Kronen nicht verdrehen lassen. Der Sockel wird dann auf einen Brenngutträger gestellt und, nachdem alles Wachs entfernt wurde, in einem Vorwärmeofen getrocknet. Wenn der Sockel trocken ist, werden die Lotstellen mit Flußmittel benetzt und mit einer ausreichenden Menge Lot beschickt.

Die Lötung findet dann im Keramikofen bei einem Programm nach Wahl mit oder ohne Vakuum statt. Das Lötobjekt wird bei einer Bereitschaftstemperatur von 550°C ca. 6 Minuten an die höhere Temperatur adaptiert. Anschließend wird die Ofenkammer geschlossen und mit ca. 50°C pro Minute Temperaturanstieg auf die Löttemperatur aufgeheizt. Die Löttemperatur errechnet sich aus der Arbeitstemperatur des Lotes zuzüglich 100°C, maximal jedoch 30°C unter der Temperatur des Glanzbrandes. Es empfiehlt sich bei der Auswahl des Lotes die Arbeitstemperatur von 800°C nicht zu überschreiten, damit der Temperaturunterschied zum letzten Brand ausreichend groß ist.

Die Löttemperatur wird ca. 1 Minute gehalten und das Lötobjekt anschließend vor der geöffneten Brennkammer langsam wieder auf die Bereitschaftstemperatur abgekühlt, bevor es von der Brennmuffel genommen und auf Raumtemperatur abgekühlt wird.

2. Methode:

Es kann bei der Lötung im geschlossenen Ofen immer wieder vorkommen, daß eine oder mehrere Lötungen nicht so geflossen sind, wie wir uns das wünschen. Eine Sichtkontrolle ist nicht möglich. Die oben beschriebene Methode wird daher in einigen wesentlichen Punkten verändert.

Das Lötobjekt wird ohne Lot auf den Brennträger gesetzt und wie bereits beschrieben aufgeheizt. Wir verwenden dazu ein Brennprogramm ohne Vakuum und verlängern die Haltezeit bei Endtemperatur auf 10 Minuten.

Nach Ablauf von 2 Minuten Haltezeit wird die Brennkammer mit dem Lift gerade so weit geöffnet, daß das mit Flußmittel benetzte Lot zum Lötspalt geführt werden kann. Wenn alle Lötungen durchgeführt sind, wird der Ofen für eine weitere Minute geschlossen.

Die anschließende Abkühlung erfolgt wie oben beschrieben.

Flammenlötung nach dem Keramikbrand:

Im Gegensatz zur Ofenlötung muß bei einer Flammenlötung ein großes Lötmodell hergestellt werden. Es hat die Aufgabe, dem langsam in den Bereich der Arbeitstemperatur aufgeheizten Lötobjekt nach der Entnahme aus dem Vorwärmeofen Wärme abzugeben, um schnelles Auskühlen zu vermeiden. Die gespeicherte Wärme reicht aus, um einen Temperaturschock durch die Flamme zu verhindern, wenn der Löttisch ebenfalls vorher erwärmt wurde. Mit der großen und sehr weich eingestellten Flamme wird das gesamte Objekt mit dem Modell weiter auf die Löttemperatur erhitzt. Nachdem die Löttemperatur erreicht ist, wird das Lot zugeführt und die Flamme langsam vom Objekt entfernt.

Entgegen der Ofenlötung hat diese Methode den großen Vorteil, daß das Lötobjekt frei erreicht und das Lot dosiert positioniert werden kann. Starke Temperaturschwankungen, wie sie z.B. durch Zugluft erzeugt werden können, müssen allerdings vermieden werden. Langsames Abkühlen des Objektes muß unbedingt gewährleistet sein. Hierbei kann eine Glasglocke sehr gute Dienste leisten. Das Risiko einer solchen Lötung ist, wenn sie richtig durchgeführt wird, nicht größer als bei einer Ofenlötung.

Erkaltendes Lot kontrahiert sehr stark. Deshalb ist es wichtig, daß die Kontaktpunkte im Metallgerüst und nicht im Bereich der Keramik liegen, da sonst durch den hohen Zug des abkühlenden Lotes Sprünge in der Keramik im Bereich der Lötstelle auftreten können.

Flußmittelrückstände müssen so sorgfältig wie möglich entfernt werden, da sie sich sonst später im Munde des Patienten durch Speichleinwirkung auflösen und u.U. zu gesundheitlichen Schäden führen können.

Ausarbeiten und Polieren von Lötungen nach dem Brand:

Bei einer geplanten Lötstelle innerhalb einer keramischen Restauration wird mit einem geringen Überschuß an Material gearbeitet. Die Übergänge zwischen Keramik und Metall werden bereits in der Wachsmodellation möglichst rechtwinklig angelegt.

Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, den gesamten Bereich der Lotstelle mit der angrenzenden Keramik zu bearbeiten, ohne die Verbindungsstelle zu schwächen.

Wir bearbeiten die gesamte Fläche zunächst mit einer feinen bis mittleren Hartmetallfräse, um überstehendes Lot, bzw. auf die Metallfläche aufgetragenes Porzellanmaterial, zu entfernen.

Interdentale Einziehungen werden ebenfalls mit Hartmetallfräsen vorgenommen.

Anschließend werden die Frässpuren auf der Keramikfläche mit geeigneten Silikonpolierern (z.B Renfert grau, Saure grau) entfernt.

Mit Metallpolieren (z.B Orthodontics rot) wird von der Keramikfläche zur Metallfläche poliert, wodurch ein Einsenken der Lotstelle weitgehend vermieden wird.

Zum Abschluß wird die gesamte Arbeit mit weichen Ziegenhaarbürsten, Wollschwabbeln und Polierpaste auf HochglanzLötung poliert.

Als Polierpasten können meistens die selben Materialien verwendet werden, die auch für Kompositkunststoffe geeignet sind. Der Einsatz von diamanthaltigen Poliermitteln ist nicht erforderlich.

Persönliche Anmerkung zur Lötung nach keramischem Brand:

Wie bereits beschrieben, werden diese Lötungen oft mit der Begründung vorgenommen, daß die Kronen- oder Brückenversorgung angeblich besser aussieht und auch besser passt. Auch für endständige Gußkronen aus goldfarbener Edelmetalllegierung wird sie oft verwendet. Es gibt aber andererseits eine ganze Reihe unvorhergesehener Probleme. Deshalb seien hier einige provozierende Kritikpunkte zu dieser Technik angemerkt.

Zum einen wird oft aus wirtschaftlichen Gründen eine billige Legierung zum Aufbrennen verwendet, dem Patienten aber eine silberfarbene Legierung an der endständigen Krone nicht zugemutet. Diese Krone wird dann an das verblendete Teil angelötet. Daß hierbei aufgrund der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Legierungen, von denen die schlechtere dann auch noch keramisch gegen Wärme isoliert ist, ein Bruch schon vorprogrammiert ist, denkt von denen, die von uns eine solche Arbeit abverlangen keiner. Die volle Verantwortung liegt bei dem Techniker, der oft gar keine Chance für eine dauerhafte Arbeit hat. Wenn wir schon aus Kosten- oder sonstigen Gründen keine goldfarbene Legierung verwenden können, warum sollen wir dann nicht die endständige Krone aus einer goldfarbenen Keramiklegierung herstellen und vor dem Brand verlöten? Dadurch erhalten wir eine einwandfreie und vor allem stabile Konstruktion.

Die Bruchgefahr erklärt sich auch noch aus einem weiteren Grund. Die Lötfläche soll mindestens 3-5 mm² groß sein. Durch den Brennvorgang erhalten wir im Übergang zwischen Keramik und Legierung immer einen feinen Rand aus Keramik oder Glasurmasse. Dieser Übergang läßt sich auch bei größter Sorgfalt, die nicht immer realisiert werden kann, nicht restlos vermeiden, d.h. die Verbindungsfläche ist auf jeden Fall kleiner als geplant. Auch stört dieser Keramikrand die Benetzung durch das Lot. Von außen sieht eine solche Lötung oft gut aus, aber wir können sie nicht auseinanderschneiden, um sie zu kontrollieren - Pech gehabt - Knack. Hat der Techniker wieder mal geschlafen?

Zum anderen werden keramische Lötungen zur besseren Ästhetik und Präzision vorgenommen. Alles schön und gut. Aber findet der Leser es ästhetisch, wenn ein Patient mit leicht errötetem Zahnfleisch herzlich lacht und auf der Palatinafläche der oberen Front diese häßlichen Metallinseln sichtbar werden?

Oder findet der Leser es ästhetisch, wenn sich in den Intradentalräumen nicht besonders wohlriechende Beläge ansammeln, die selbst bei gründlicher Mundhygiene nicht entfernt werden können, weil keine Zahnseide mehr durchgefädelt werden kann? Im Approximalspalt befinden sich Rückstände von Glasurmasse, Lötgips, Metall und Flußmittel, die mechanisch nicht entfernt werden können. Eine Politur dieser Approximalbereiche ist nicht möglich, das weiß jeder Kollege.

Auch ist erstaunlich, daß heute viele Kollegen nur noch Präzisionsgüsse mit noch weniger Müh' als gestern machen, aber andererseits nicht Willens oder in der Lage sind, vier Frontzähne am Stück zu verblenden.

Was machen sie, wenn die Farbe angeglichen werden muß? Diese Kollegen haben vielleicht etwas weniger Randspalt, aber ich möchte nicht jeden Interdentalraum mit Lötung unter dem Mikroskop anschauen müssen, schon gar nicht nach einigen Jahren Tragezeit.

Ganz abgesehen davon, wurde eine weitere Legierung ins Spiel gebracht, die nicht hätte sein müssen.

Wenn wir nach einer Lötung die Keramik wieder entfernen, dann sehen wir, was wir angerichtet haben.

Ich hoffe, meine Leser nehmen mir diese Kritik nicht übel. Sie trifft teilweise auch mich selbst.

Lote in besonderen Formen:

Genau so viel Lot zu verwenden, wie tatsächlich benötigt wird, ist beim industriellen Löten schon längst etabliert.

Wo immer es möglich ist, werden Lote, nicht nur aus Kostengründen, in der exakt dosierten Menge und einer der Aufgabe entsprechenden Formgebung hergestellt.

Allerdings handelt es sich beim automatischen Löten oft um Objekte großer Stückzahl, was den Aufwand einer speziellen Form rechtfertigt.

Man stelle sich vor, man müsse tausende gleicher Werkstücke von Hand mit der richtigen Menge Lot beschicken.

So finden wir z.B. bei der Rohrlötung, bei der zwei Rohre ineinander gesetzt werden, **Lotringe**, die im Ringdurchmesser und in der Ringstärke auf die erforderliche Menge abgestimmt sind. Der Spalt zwischen Innen- und Aussenrohr ist ebenfalls auf die Fließfähigkeit des Lotes abgestimmt. Die Lotringe werden auf die Rohre montiert, wodurch die in der Zahntechnik üblichen Fixierungsprobleme entfallen.

Wenn die Lötungen im elektrisch beheizten Schutzgasofen stattfinden, kann auf das Flußmittel teilweise verzichtet werden.

Die hauptsächlichen Vorteile dieser Lötungen bestehen darin, daß eine Nacharbeitung entfallen kann und die Ausfallquote auf ein Minimum reduziert wird. Diese Lötungen fallen in gleichbleibender Qualität aus, wodurch das Risiko auf Spätfolgen und eventuelle Gewährleistungsansprüche minimiert wird.

In der Elektronikindustrie finden wir heute Lötstraßen, in denen das Lötzinn permanent flüssig gehalten wird. Um eine Oxidation des Zinns zu verhindern, wird ein Schutzgas eingesetzt.

Die elektronischen Bauteile werden maschinell in die dafür vorbereiteten Bohrungen in teilweise mehrlagige Platinen gesetzt.

Anschließend durchläuft die gesamte Platine mit den Bauteilen ein **Lotbad** aus Lötzinn, dessen Niveau exakt so eingestellt ist, daß die Platine nicht eintaucht. Das Zinn zieht sich dann durch kapillaren Fülldruck den feinen Drähten entlang durch die Bohrungen.

Auch diese Lötungen sind von gleichbleibender Güte und können ohne Nacharbeitung hergestellt werden.

In der Schmuckindustrie, in der hauptsächlich Lötautomaten zum Einsatz kommen, sind die benötigten Lotmengen so gering, daß die oben beschriebenen Formteile nicht mehr angewandt werden können.

Ein feingliedriges Collier aus hochkarätigen Schmuckgold wäre heute unbezahlbar, wenn es nicht Automaten gäbe, bei denen hinten der profilierte Draht zugeführt wird und vorne die fertig gelötete Halskette ohne Nacharbeitung der Lotstelle als Meterware herauskommen würde.

Es wird entweder mit feinen **Lotdrähten**, die in der richtigen Menge zugeführt werden, oder mit **Lotpasten** gearbeitet. Die Beschreibung der Lotpasten finden Sie unter 'CH-Feinlotpaste 750'.

Für sonstige Anwendungen sind **Lotstäbe mit Flußmittel** sehr weit verbreitet. Sie haben einen Mantel aus Flußmittel und sind für verschiedene Grundwerkstoffe in Baumärkten erhältlich. Sie eignen sich für Lötungen an z.B Eisen, Stahl, Kupfer und Messing. Insbesondere bei Heimwerkern und Installateuren sind sie sehr beliebt.

Zahntechnische Lotformen:

Rückblickend auf meine Lehrzeit kamen damals noch oft **Blechlote** zum Einsatz. Diese gewalzten Blechstücke waren ca. 3 cm breit, 10 cm lang und 0,3-0,5 mm dick.

Mit Blechscheren wurden feine Streifen abgeschnitten, von denen dann wieder kleine Stückchen in der benötigten Menge abgetrennt wurden.

Diese Lotstücke wurden mit Flußmittel auf die Lotstelle geklebt und meistens über dem Bunsenbrenner verlötet.

Lot war damals schon das teuerste Material und mußte sehr sparsam verwendet werden. Ich kann mich noch gut an den Ärger mit meinem Lehrmeister erinnern, wenn ich einmal eine Lotstelle nacharbeiten mußte.

Es galt schon damals und gilt auch noch heute:

Auf die Dosierung kommt es an !

Stab- und Drahtlote finden in der Zahntechnik nur wenig Anwendung. Es sind auch nur wenige Lote in Stabform erhältlich.

Bandlote waren anfangs sehr spröde, was of dazu führte, daß sie bereits in der Rolle zerbrochen waren. Die Dentalindustrie hat dieses Problem allerdings sehr schnell gelöst.

Aber leider hat der Komfort des Bandlotes nicht zu den gewünschten Resultaten geführt.

Es ist einfach zu bequem, das Ende des Bandlotes zu einer Kugel zu schmelzen und mit gewaltigem Überschuß alles aufzufüllen, was einem vor die Flamme kommt. Die Rolle ist ja lang genug und den Rest kann man wegschleifen.

An diesem etwas ironischen Satz ist schon ein gutes Stück Wahrheit dran. Wenn wir uns aber überlegen, warum es früher möglich war, mit dem gleichen Lot eine frei Hand gelötete Lotstelle nachzulöten, dann kommen wir zu dem Schluß, daß es eben doch wichtig ist, das Lot richtig zu dosieren. Nur dann ist es möglich, die Eigenschaften der Grundlegierung so weit wie möglich zu erhalten.

Vielleicht hat auch beim Löten unsere Überschuß- und Wegwerfgesellschaft ihre Spuren hinterlassen. Für den Laborchef ein teures Vergnügen !

Mit Flußmittel gefüllte **Röhrenlote** sind ebenfalls als Stäbe erhältlich. Sie sind sehr dünnwandig und erlauben dadurch eine Arbeitsweise mit exakter Dosierung.

Durch die Erwärmung des Röhrchens fließt das Flussmittel heraus und benetzt den Lötspalt. Ein zusätzliches Flußmittel ist nicht erforderlich.

Röhrenlote sind für Lötungen von CR-CO-Legierungen auch in Kombination zu Gold **sehr empfehlenswert**, allerdings sehr teuer.

Ihre hauptsächlichen Anwendungsgebiete sehe ich in der Lötung von Teleskop- oder Konuskronen, Matrizen oder Patrizen, wie z.B. Anker, und Reparaturen von Modellguß. Vorlöten ist nicht erforderlich, da die Lote und Flußmittel auf die Modellgußlegierung abgestimmt sind.

Für reine Goldlötungen sind ebenfalls Röhrenlote erhältlich, jedoch sehe ich deren Anwendung als nicht erforderlich bzw. sinnvoll.

Eine große Auswahl an Röhrenloten für die verschiedenen Einsatzgebiete führt die Firma Nobil-Metalle.

CH-Feinlotpaste 750:

Ich möchte dieses Lot bewußt bei seinen Namen nennen, denn es ist bislang das einzige seiner Art auf dem zahntechnischen Markt.

Lotpasten werden in der Schmuckindustrie schon seit langem eingesetzt. Sie bestehen aus Lot, Fluß- und Bindemitteln. Die Zusammensetzung ist auf das Aufgabengebiet abgestimmt. Als Bindemittel dienen z.B. Vaseline und Glycerin, als Flußmittel die üblichen Borate und Fluoride.

Resultierend aus dem Gedanken, das Lot und das Flußmittel idealerweise bereits vor der ersten Erwärmung der Lotstelle plaziert zu haben, ist der Einsatz eines solchen Materials für die zahntechnische Lötung naheliegend.

Die Entwicklung der CH-Feinlotpaste 750 ist als direktes Ergebnis aus dem Masterworkshop '91 im Hause Hafner zu sehen, denn dort wurden die ersten Pastenlötungen mit Silberhartlot hergestellt. Die einfache Anwendung war verblüffend. Allerdings war das damals verwendete Lot nicht für den Einsatz im Mund geeignet.

Es galt also ein Lot zu entwickeln, welches folgenden Anforderungen mindestens gerecht werden mußte:

- mundbeständig
- anlaufbeständig
- korrosionsbeständig
- universell einsetzbar für nahezu jede Legierung
- geeignet für Kombinationslötungen
- mit der Flamme lötbar
- Arbeitstemperatur bei 700-800°
- kleine Korngröße
- fließfähige Körnung
- Flußmittel soll transparent sein
- darf sich nicht entmischen
- günstiger Verbrauch
- günstiger Preis
- einfache Handhabung
- einfache Dosierung
- exakte Dosierung
- gleiches Nachlegelot als Band- oder Stablot

Mit den Erfahrungen aus der Herstellung anderer Lote, die für die Neuentwicklung der Lotpaste eingebracht wurden, entstand nun ein goldfarbenedes Lot für feine Lötungen, mit einem Feingehalt von 750/1000 und einer Arbeitstemperatur von 735°C. Die Korngröße der Lotperlen beträgt 20-30 Micrometer.

Die richtige Kombination aus diesem Lot und dem geeigneten Flußmittel mußte in zahlreichen Tests und Versuchen ermittelt werden, bis auch hier das angestrebte Ergebnis vorlag.

Versuche mit Goldlegierungen konnten bald eingestellt werden, da alle Zerreißstäbe neben der Lotstelle gerissen waren, und somit ein sehr gutes Ergebnis dokumentiert war.

Auch die Festigkeitswerte der Lötungen an der Modellgußlegierung Heliopan M (vgl. Abb. auf Seite 7), sowie an anderen Modellgußlegierungen, übertrafen alle gesetzten Erwartungen, wenn man bedenkt, daß die DIN-Forderung bei einer Festigkeit von 350 N und die erreichte Festigkeit bei bis zu 750 N liegt. Heliopan M alleine liegt bei einer Zugfestigkeit von ca. 900 N.

Bei den Kombinationen beider Legierungsgruppen wurden ebenfalls wesentlich bessere Ergebnisse als bei herkömmlichen Lötungen erreicht, allerdings mit mehr Ausfällen als bei gleichen Grundlegierungen, was auf die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der Legierungen zurückzuführen ist.

Gleichzeitig wurde in diesen Versuchsserien festgestellt, daß Lötungen, die ohne den nach DIN erforderlichen Lötsockel hergestellt wurden, eine Festigkeitssteigerung von über 20% aufweisen.

Also ist die o.g. Schlußfolgerung, auf den Lötblock zu verzichten ebenfalls belegt.

Die angefertigten Schliffbilder eines Teiles der hergestellten Lötungen zeigten klare und saubere Diffusionszonen in der Modellgußlegierung, was für Lote dieses Temperaturbereiches nicht selbstverständlich ist. Anlauffests und sonstige Versuche bestätigten den insgesamt positiven Eindruck (vgl. Abb. auf Seite 27).

Sicherlich ist auch dieses Lot noch nicht der Weisheit letzter Schluß. Wir werden sehen, was die Zukunft bringt.

Für mich als praktizierenden Zahntechniker war die Entwicklungszeit dieses Lotes zwar sehr zeitaufwendig, aber überaus spannend und interessant, denn wann können wir schon einmal so intensiv an der Forschung und Entwicklung mitarbeiten. Es war lehrreich und hat Spaß gemacht. Ich möchte mich an dieser Stelle nochmals für das entgegengebrachte Vertrauen bei der Firma C.Hafner bedanken.

Anwendung der CH-Feinlotpaste 750:

Lötungen von Gold an Modellguß.

Hauptsächliches Entwicklungsziel der Lotpaste waren Lötungen von Modellguß an hochgoldhaltige und goldreduzierte Legierungsgruppen.

Aufgrund ihrer geringen Korngröße läßt sie sich im Lötspalt plazieren. Wie bereits weiter oben beschrieben, werden die zu verlötenden Teile mit mechanischen Retentionen möglichst paßgenau aufeinander vorbereitet.

Vor dem Fügen der Einzelteile wird eine geringe Menge der Paste zwischen die Teile eingelegt. Die Teile werden nun kräftig aufeinandergesetzt, daß überschüssiges Lot austreten kann.

Im Bereich des geplanten Schweißpunktes muß alles ausgetretene Lot sorgfältig entfernt werden, um den Schweißvorgang vornehmen zu können.

Anschließend an die Punktschweißung wird die gesamte Lotstelle mit wenig Lotpaste umkleidet. Selbstverständlich genügt die Lotmenge nicht, um den Spalt völlig zu füllen. Wird jedoch zu viel Paste aufgetragen tropft sie bei der Erwärmung durch ihr Eigengewicht ab. Deshalb wird die benötigte Menge während der Lötung mit Feinlotband 750 nachgelegt. Ein zusätzliches Flußmittel ist nicht unbedingt erforderlich, aber es kann das Bandlot mit Flußmittel für die Edelmetalltechnik benetzt werden.

Innerhalb des Lötspaltes füllt die Paste kleine Spalten und bildet die Diffusionszonen aus, wodurch das Nachlegelot leicht einfließen kann.

Wird die Dosierung richtig vorgenommen, erreichen wir saubere Übergänge, die teilweise nicht mehr nachgearbeitet werden müssen.

Lötungen von Modellgußreparaturen.

Bei Reparaturen oder Erweiterungen von Modellgußgerüsten kann ebenfalls wie oben beschrieben vorgegangen werden. Wichtig ist lediglich, daß die Feinlotpaste beim Erwärmen perlen kann und aus dem Bereich des Lotspaltes heraustritt, wenn dieser nicht waagrecht ausgerichtet ist.

Wird aus farblichen Gründen ein anders Nachlegelot als Feinlotband 750 verwendet, können sich neue Legierungen mit unbekanntem Eigenschaften entwickeln, wovon somit abzuraten ist.

Die Akzeptanz einer goldfarbenen Lötung beim Patienten ist gut, denn er weiß, daß repariert wurde und empfindet in der Regel eine goldene Reparatur als edel, aber nicht als wertmindernd.

Lötungen von Gold an Gold.

Bei reinen Goldlötungen ist die Anwendung der Feinlotpaste 750 im wesentlichen für Korrekturen zweckmäßig. Die feine Dosierbarkeit erlaubt kleinste Lötungen, die mit herkömmlichem Material nicht möglich wären.

Einige Beispiele:

Perforationen durch nachträgliches Bearbeiten treten oft bei sehr dünnen Wandungsstärken auf. Konventionell kann nur mit einer Unterlage aus Platinfolie, die nach der Lötung von innen wieder entfernt wird, gelötet werden. Mit Pastenlot haben wir eine echte Chance.

Bei kleinen Perforationen im Fissurenbereich ist üblicherweise ein wesentlicher Teil der Fissur mit zugelötet. Dies ist insbesondere dann ärgerlich, wenn die Fissuren nicht gefräst sondern modelliert sind. Mit Paste kann man so wenig Lot auftragen, daß tatsächlich nur die Perforation geschlossen wird.

Lunker im dünnen Randbereich treten leider immer wieder auf. Sind sie nur wenige zehntel Millimeter vom Rand entfernt, gibt es herkömmlich fast keine Möglichkeit der Korrektur ohne Verlust des Randschlusses oder gar de Randes. Versuchen Sie es mit Pastenlot.

Sie sehen, überall dort, wo mit den herkömmlichen Loten nicht wenig genug Material aufgetragen werden kann, besteht ausschließlich durch die Dosierung eine Möglichkeit zum korrigierenden Eingreifen.

Manche nennen es 'Pfuschen', aber geht es in unserem Beruf ganz ohne Pfusch ? Richtig gepfuscht ist eben auch eine Kunst.

(In Österreich hat das Wort 'Pfusch' die Bedeutung 'Schwarzarbeit'.)

Lötung von kieferorthopädischen Geräten.

Anfänglich hatte fast niemand an die Kieferorthopädie gedacht, als die Grundidee für dieses Lot gefallen war. Es hat sich allerdings sehr schnell gezeigt, welche Möglichkeiten sich damit eröffnen.

Nahezu alle in der KFO verwendbaren Metallteile wie Drähte, Schrauben, Bänder und was es da sonst noch so alles gibt, ist mit wenig Aufwand lötbar. Alle Einzelteile im Bereich einer Lotstelle werden mit einem Impulsfixator angeheftet, mit Pastenlot beschickt und anschließend mit weicher Flamme gelötet.

Stellt man nach dem Abkühlen der Drähte fest, daß noch weiteres Lot nachgelegt werden muß, wird die ganze Sache nochmals erhitzt und ohne weiteres Flußmittel nachgelötet, natürlich nur dann, wenn das Flußmittel nicht entfernt wurde.

Da macht sogar dem eingefleischten Prothetiker die Anfertigung eines Crozat-Gerätes wieder Spaß.

Lötung von keramisch verblendeten Gerüsten.

Keramisch verblendete Gerüste können mit der Feinlotpaste 750 nicht gelötet werden !

Der Grund dafür ist die Zusammensetzung des Flußmittels. Es ist zu aggressiv für die Dentalkeramik und führt zu deren Beschädigung.

Es ist jedoch durchaus möglich eine Korrektur einer endständigen Vollgußkrone vorzunehmen, wenn kein Flußmittelkontakt zur Keramik sichergestellt werden kann.

Reinigung nach der Lötung.

Rückstände vom Flußmittel der Feinlotpaste lassen sich mit Ultraschall- oder Dampfstrahlgeräten entfernen.

Abbeizen in z.B. Neacid kann bei manchen Legierungen zu einem kupferfarbenen Niederschlag führen, wenn die Beize verbraucht ist. Bei neuer Beize tritt dieser Effekt nur sehr selten bei billigen Legierungen auf.

Die richtig gelötete Verbindung ist porenfrei, glatt, mit nahtlosen Übergängen und kann sofort poliert werden.

Zerstörung von Lotstellen:

Im Folgenden soll nun beschrieben werden, welche Faktoren zur Zerstörung einer Lotstelle, insbesondere an Modellgußlegierungen, beitragen:

Wir kennen eine gelöste Lötung in der Regel als einen schwarzen Spalt mit teilweise aufgelösten Grundmaterialien. Wenn wir uns die Situation unter dem Arbeitsmikroskop betrachten, finden wir auf den Grenzflächen einen pulverigen, noch haftenden Belag aus Metalloxiden. Er hat sich im Inneren gebildet und trennt die Grundwerkstoffe wie ein Keil.

Besondere Probleme ergeben sich in der Praxis durch Korrosionsarten mit zusätzlicher mechanischer Beanspruchung. Hier sind in erster Linie Spannungsrißkorrosion und Schwingungsrißkorrosion zu nennen.

Für das Auftreten von **Spannungsrißkorrosion** müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- es müssen Zugspannungen (z.B. durch Abkühlen einer Lotselle) im Bauteil vorliegen,
- es muß ein Anriß entstehen,
- es muß ein Elektrolyt vorhanden sein (Speichel).

Die **Anrißentstehung** kann durch ein Zusammenspiel von mechanischer Spannung und Korrosion zustande kommen. Die bei der mechanischen Belastung auftretende Deformation führt zur Bildung von Gleitstufen an der Oberfläche (Treppenstufen).

Die bei unserem Modellguß vorhandene Deckschicht aus Chromoxid wird unterbrochen und der Speichel verhindert eine Neubildung, so daß ein örtlicher Korrosionsangriff möglich ist: es entsteht ein Tunnel.

Der Tunnel kann sich auch durch Ionen bilden, die in der Lage sind die Deckschicht zu durchdringen.

Das unterschiedliche elektrische Potential zwischen Lot und Grundlegierung fördert diesen Vorgang zusätzlich.

Der **Rißfortschritt** entsteht durch die Spannungskonzentration und damit verbundenen Kerbwirkung an seiner Spitze.

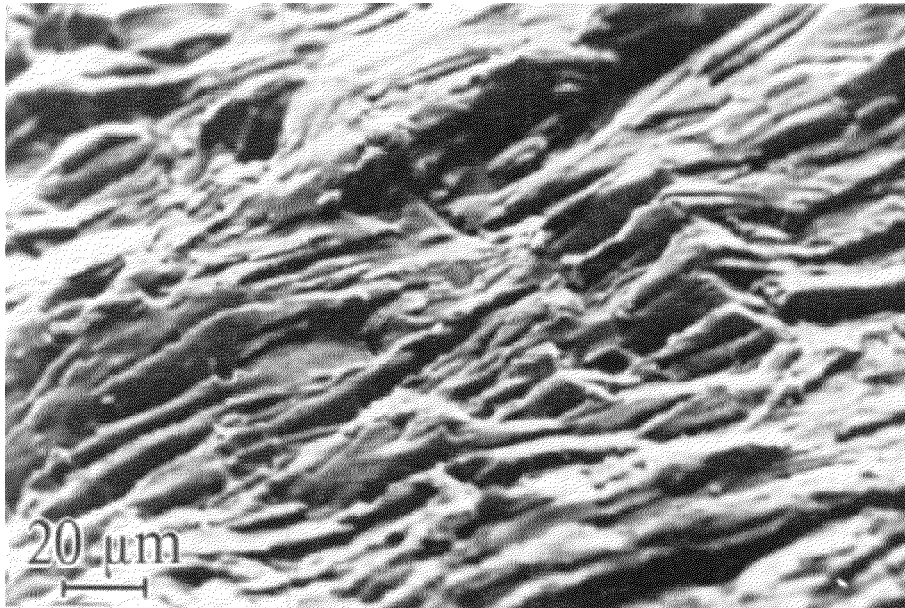
Die Spannungsrißkorrosion verläuft je nach Werkstoff und Elektrolyt transkristallin oder interkristallin.

Die **Schwingungsrißkorrosion** beruht im Wesentlichen auf dem gleichen Mechanismus wie die Spannungsrißkorrosion.

Durch die Schwingbeanspruchung einer Verbindungsstelle, die bei jedem Kauzyklus als Makroschwingung und selbst bei der Sprache als Mikroschwingung auftreten, entstehen Materialverschiebungen in Form von Intrusionen und Extrusionen, also eine Vielzahl von Treppenstufen und teilweise tiefen Anrissen, wodurch die Schwingfestigkeit stetig abnimmt.

Während die Spannungsrißkorrosion eine gewisse Empfindlichkeit der Werkstoffe voraussetzt, ist die Schwingungsrißkorrosion bei nahezu jedem Material möglich.

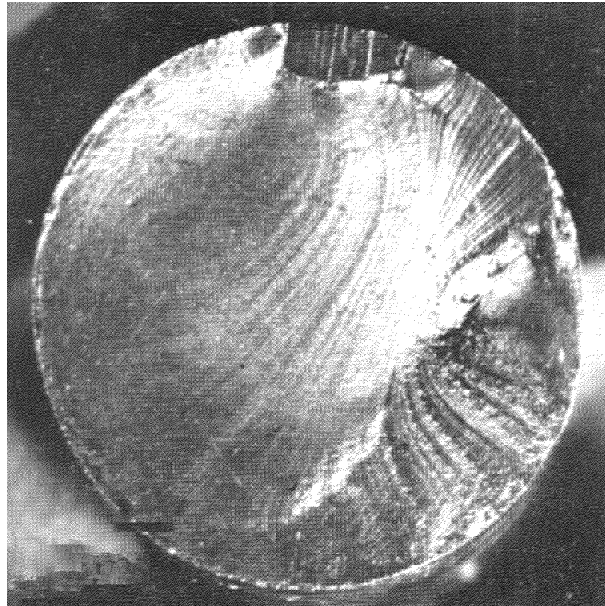
Die Schwingungsrißkorrosion führt fast ausschließlich zu transkristallinen Rissen.



Schwingungsstreifen (REM-Aufnahme)

Ein gutes zahntechnisches Beispiel ist die aus Drähten gebogene Retention, die mit goldhaltigen Loten angebracht ist. Sie sind oft sehr dünn gearbeitet und entsprechend flexibel, es kommt also zu mechanischen Spannungen zwischen Lot und Draht. Die Korrosion kann den Drähten entlang so weit fortschreiten, daß die gesamte Drahtkonstruktion zerstört ist und zum Schluß das Lot auseinander bricht.

Jede Korrosion schwächt die Verbindungsstelle bis sie ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen kann. Ist die Grenze der Gesamtbelastbarkeit erreicht, entsteht ein **Restbruch** im noch nicht korrodierten Material.



Bruchstelle

Zusammenfassung:

Kenntnisse über die Zusammensetzung der für eine Lötung zur Verfügung stehenden Materialien sind für den richtigen Einsatz und den erhofften Erfolg eine unabdingbare Voraussetzung.

Eine Lötung ist nur dann langfristig erfolgreich, wenn sie sorgfältig geplant und durchgeführt wird. Hierbei müssen unabwendbare Einflüsse wie z.B. mechanische Belastung, innere und äußere Spannung, sowie Schwingungen der Gesamtkonstruktion berücksichtigt werden.

Die nach den DIN-Normen durchgeführten zahntechnischen Lötungen erreichen außer bei Lötungen von Gold- an Modellgußlegierungen nahezu immer höhere Festigkeitswerte als die geforderten 350 N/mm^2 und sind somit ausreichend stabil. Die chemische Resistenz ist bei Anwendung der Aufgabe entsprechender Lote und artgleichen Legierungen gut.

Für die Verbindung von Gold- und Modellgußlegierungen werden nur dann regelmäßig gute Lötungen erreicht, wenn die Lötung ohne einen Lötsockel durchgeführt wird und die Möglichkeiten der materialgerechten Vorbereitung ausgeschöpft werden. Trotzdem ist der Verfall einer Lötung in dieser Materialkombination nicht auszuschließen. Es müssen daher Gerüstkonstruktionen angewandt werden, die die endgültige Zerstörung einer Lötung über die Tragezeit der Prothese hinaus retten.

Die Lötung nach keramischem Brand ist durch moderne Guß- und Brennverfahren nur noch in seltenen Fällen notwendig und sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Die vermeintlichen Vorzüge in Präzision und Ästhetik werden durch materialtechnische und hygienische Nachteile und fertigungstechnische Risiken wieder aufgehoben.

Schlußwort:

Sicherlich werden Sie nach diesem Kurs nicht aller Probleme der Löttechnik entledigt sein, aber vielleicht konnte Ihnen ein Stück geholfen werden.

Wir haben heute neben dem Löten auch noch andere gute Metallverbindungsverfahren, jedoch ist eine Lötung in vielen Fällen unumgänglich.

Dann müssen wir unser Wissen und unsere Erfahrung ausschöpfen, unser Bestes geben, um dem Patienten und uns den wohlverdienten Erfolg zu geben.

Uns obliegt auch, unsere Kenntnisse an unseren Nachwuchs weiterzugeben, aber bitte gezielt und richtig.

Beherrschen werden wir die zahntechnische Lötung wahrscheinlich nie vollständig, wir sind eben keine Automaten.

Hat Ihnen der Kurs etwas gebracht, dann empfehlen Sie ihn bitte weiter, wenn nicht,

Hans-Joachim Burkhardt