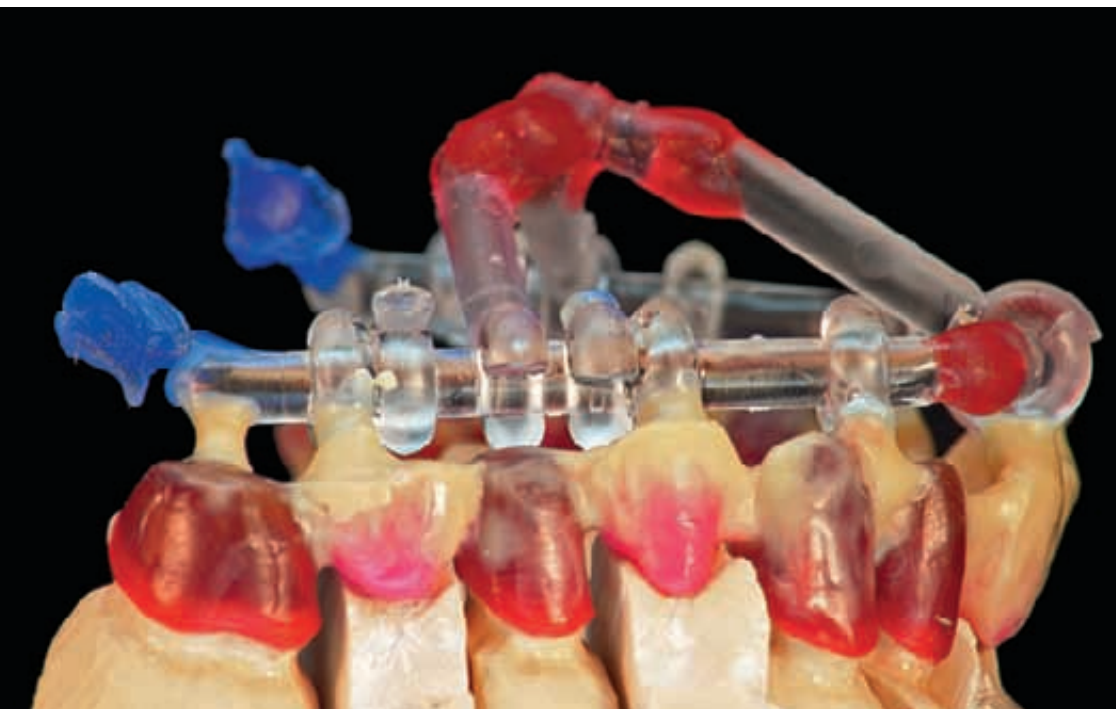


**Zusammenfassung**

Der Beitrag widmet sich den Alltagsproblemen in der dentalen Gusstechnik und zeigt anhand der Herstellung einer Brücke aus einer Goldgusslegierung, welche Probleme aus welchen unterschiedlichen Ursachen heraus auftreten und wie sie vermieden werden können. Darüber hinaus werden einige Neuheiten in der dentalen Gusstechnik vorgestellt, die der Autor bereits in der Anwendung erprobt hat, wie z. B. ein neues Gussystem und eine neue Einbettmasse.

**Indizes**

Dentale Gusstechnik, Wachsmodellation, Anstiften, Einbetten, Abbinden der Einbettmasse, Speed-Einbettmassen, Speed-Guss, Gussteilgestaltung, lichthärtende Modelliermassen, Et-clic®



## Dentale Gusstechnik

Tücken gusstechnischer Umsetzung:  
von der Modellation bis zum Guss

**Andreas Hoffmann**

Jeder Techniker kennt die Alltagsprobleme in der zahntechnischen Gusstechnik. Die Vielzahl der unterschiedlichen Gussysteme und die verschiedenen Gussanforderungen führen nicht immer zu perfekten Ergebnissen. Die Gründe dafür können vielfältig sein: die Lage der Gussobjekte in der Einbettung, die Anzahl und Stärke der Gussbalken, die Wärmeverteilung in der Muffel, die Führung der Schmelze in der Muffel oder das Füllverhalten der Schmelze in der Form. Dies sind nur einige Problemzonen eines perfekten Gusses, poröse Gussgefüge, Lunken, Poren und Einschlüsse in der Schmelze sind weitere Faktoren. Nicht zuletzt sind die Passung und die Gussoberfläche von entscheidender Bedeutung.<sup>2</sup> Doch auch hier führen viele Wege nach Rom. Einer davon soll im Folgenden genauer betrachtet werden.

Die Erstellung der Wachsmodellation (Wax-up) auf dem Meistermodell beginnt meist mit dem Ausblocken der Stumpfspitzen und dem Isolieren der Stümpfe. Anschließend erfolgt die Herstellung eines Wachskäppchens in einem Tauchbad. Hierzu wird ein geeignetes Tauchwachs in einem Konstanter auf gleichbleibender Temperatur gehalten.

**Einleitung**

### Die Herstellung einer Brücke aus einer Goldgusslegierung<sup>4</sup>



Das zu modellierende Objekt wird kurz eingetaucht, um einen gleichmäßigen Wachsüberzug zu erhalten. Hebt der Techniker den Stumpf aus dem Konstanter, kühlt die Modellation ab und das Wachskäppchen erstarrt.

Bei der Erstarrung des Wachses tritt ein Volumenschrumpf auf, der darauf basiert, dass der Volumenzuwachs, den das Wachs beim Übergang vom festen in den flüssigen Zustand erfahren hat, wieder zurückgeht. Da diese Wachse üblicherweise aus einer Mischung verschiedener Wachse bestehen, hat dies zur Folge, dass die unterschiedlichen Wachse innerhalb des Wachsgemisches auch unterschiedliche Kontraktionsschrumpfungen bei der Erstarrung aufweisen. Hierbei wird in der Regel eine Adaption auf den Stumpf erfolgen, da durch die zirkuläre Modellation beim Tauchen des Stumpfs ein Verzug in Richtung Stumpf erfolgt.

Das weitere additive Aufwachsen erfolgt ebenfalls mit einem Instrument, das eine thermische Aufschmelzung in einem Wachsblock auslöst, also einem elektrischen Wachsmesser oder einem Modellierinstrument. Das Wachs wird dann als Tropfen auf die Grundkonstruktion übertragen und während des Erstarrens in eine grobe Zahnform gebracht. Jeder Tropfen Wachs löst eine Kontraktionsschrumpfung aus, die die Modellation langsam aber nachhaltig verzieht. Das Volumen des Wachses nimmt mit steigender Temperatur immer mehr zu und wird beim Abkühlen wieder kontrahieren. Diese Kontraktionsschrumpfung findet immer statt, wenn flüssiges Wachs erstarrt. Aus diesem Grund wird der Zahntechniker versuchen, mit möglichst kalten Wachsen zu arbeiten, die sich gerade noch in flüssigem Zustand befinden, um dadurch eine zeitliche Versetzung beim Aufwachsen zu nutzen und die Kontraktionsschrumpfung zu minimieren.

Nach der Fertigstellung der Wachsmodellation erfolgt häufig eine Durchtrennung zwischen den Kronen oder Pontics, da hierdurch ein Zusammenschrumpfen zwischen den Stümpfen ausgeglichen werden kann. Ein erneutes Zusammenfügen mit Wachs löst lediglich den Schrumpf aus, den das flüssige Wachs dieser einzelnen Verbindung erzeugt.

*Das Anstiften* Nach dem Erkalten kann auf diese Weise eine sehr spannungsarme Wachsmodellation entstehen. Aufwändige Modulationsarbeiten werden durch das Anstiften der Gusskanäle beendet. Hierbei greift der Techniker auf vorhandene Wachsstrukturen zurück, die er kaltplastisch umformen kann. Dies können Wachsdrähte einer beliebigen Firma oder vorgefertigte Wachssticks mit bestimmten Wachsgeometrien sein. Kaltplastisch umgeformte Wachse haben ein gewisses Rückstellverhalten, das sich als Spannung später in der abgehobenen Modellation auswirken und so zu Verzügen in der Modellation führen kann. Gegossene Wachsfertigteile minimieren diesen Verzug erheblich.

Bei der Gusstechnik im Balkenguss, die sich in den letzten Jahren verstärkt durchgesetzt hat, werden beim Zusammensetzen der Balken und dem Anstiften an das Wachsojekt viele Schmelzpunkte in kurzer Reihenfolge nacheinander erzeugt. Schon die Erstarrung dieser vielen thermischen Aufheizungspunkte, die den Wachsbereich in der Umgebung zunächst ausdehnen und später während der Erstarrung kontrahieren lassen, kann Verzüge zur Folge haben.<sup>5</sup>

Ein weiterer wichtiger Faktor in der alltäglichen Laborsituation ist der Termindruck. Sehr häufig werden aus Zeitgründen Wachsmodellationen viel zu früh vom Modell entfernt, wodurch eine Auskühlung des Wachses auf dem Modell verhindert wird. Auch



hierdurch kann es zu vermeidbaren Verzügen kommen, denn erst wenn die Wachsmodellation Zimmertemperatur erreicht hat, entsteht ein Temperaturgleichgewicht und es treten keine weiteren thermischen Veränderungen auf.

**Die Einbettmasse.** Nach dem Anstiften auf geeigneten Objektellern erfolgt die Einbettung der Wachsmodellation.<sup>13</sup> Es gibt eine Fülle von Einbettmassen für die verschiedensten Gusstechniken,<sup>6</sup> aber sie alle haben eine Aufgabe: Sie sollen das Metall, das beim Schmelzen an Volumen gewinnt, durch eine Expansion in der Form vergrößern und innerhalb des Erstarrungsprozesses in der Muffel zu einer Passung auf dem Arbeitsmodell führen.

### Das Einbetten

Die relative lineare Schwindung der Gussstücke im festen Zustand zwischen der Solidus- und der Raumtemperatur beträgt bei Edelmetalllegierungen ca. 1,6 bis 1,7 % linear. Bei NEM-Legierung (CoCrMo) sind es bis zu 2,2 % linear. In der Dentaltechnik wird die Expansion der Einbettmasse so eingestellt, dass der Gushohlraum bei der Solidustemperatur um diesen Wert vergrößert ist.

Phosphatgebundene Einbettmassen bestehen aus einem Bindematerial aus Magnesiumoxid, Ammoniumhydrogenphosphat sowie den  $\text{SiO}_2$ -Modifikationen wie Quarz und Kristobalit als Füllstoff.<sup>12</sup> Einige Einbettmassen enthalten auch noch zusätzlich Grafitpulver. Diese vorgemischten Pulver werden mit einer Anmischflüssigkeit, die im Wesentlichen aus wässrigem Kieselsol besteht, angerührt. Nach dem Anmischen erfolgen das Auskristallisieren des Ammoniummagnesiumphosphats bei Raumtemperatur und die Verfestigung in der chemischen Reaktion. Beim anschließenden Vorwärmprozess im Ofen kommt es zur Abspaltung von Wasser und Ammoniak und es bildet sich hierbei zum Beispiel Magnesiumpyrophosphat.<sup>7</sup>

**Das korrekte Abbinden der Einbettmasse.** Der eigentliche Herstellungsprozess ist mit Volumenänderungen der Einbettmassen verbunden. Hierbei konkurrieren Schwindungen und Expansionen.

Die Expansion setzt sich aus der Abbindeexpansion und der thermischen Expansion zusammen und lässt sich durch die Konzentration der Anmischflüssigkeiten steuern. Je höher deren Konzentration ist, desto größer ist die Expansion.

Beim Sintern der Einbettmasse findet die Schwindung nur zwischen den sich berührenden Partikeln des Füllstoffs statt, sodass ein poröser Keramikkörper entsteht. In den Bereichen zwischen den Partikeln des Füllstoffs wandelt sich das Kieselsol der Anmischflüssigkeit in amorphes Siliziumdioxid  $\text{SiO}_2$  um. Die Expansion wird daher im Wesentlichen durch das Füllmaterial bestimmt, das bei dentalen Einbettmassen aus einem Gemisch aus Kristobalit und Quarz besteht. Bei einem Umwandlungspunkt von 270 °C wandelt sich der Quarz um, der Umwandlungspunkt von Kristobalit liegt bei 573 °C, durch den eine weitere starke Volumenzunahme generiert wird. Diese thermischen Expansionsphasen werden in der Regel durch vorgegebene Haltezeiten im Ofen berücksichtigt.<sup>9</sup>

Durch die Konzentration der Anmischflüssigkeit kann, wie bereits erwähnt, die thermische Expansion zusätzlich beeinflusst werden: Ein hoher Gehalt an Kieselsol erhöht die thermische Expansion. Ziel ist, eine Gesamtexpansion von ca. 1,7 % einzustellen, was einer linearen thermischen Schwindung der dentalen Edelmetalllegierungen in der Erstarrungsphase beim Abkühlen auf Raumtemperatur entspricht.

Die Konzentration des Gemischs wird durch ein bestimmtes Mischungsverhältnis aus destilliertem Wasser und Anmischflüssigkeit erreicht, wobei der Anteil der Anmischflüssigkeit 40 % nicht überschreiten darf, um ein chemisches Ungleichgewicht zu vermeiden. Aber nicht nur die Menge des destillierten Wassers und die Konzentration der Anmischflüssigkeit sind entscheidend für die Expansion der Einbettmasse, sondern auch die Ausgangstemperatur, die bei dem während des Durchmischens von Flüssigkeit und Pulver stattfindenden chemischen Prozess herrscht. Ebenso sind die Anzahl der Umdrehungen und das Vakuum des Vakuumrührers von Bedeutung, will man gleichbleibende Ergebnisse erreichen.

Im Augenblick der Abbindephase bekommt die Einbettmasse einen enormen Expansionsschub, da sie sich in diesem Moment thermisch stark aufheizt. Aus diesem Grund ist eine ideale Ausgangstemperatur der Flüssigkeit und des Pulvers von großer Bedeutung, diese liegt bei ca. 17 °C.

Um dies zu gewährleisten, empfiehlt sich eine Lagerung der Flüssigkeit und des Pulvers in Thermoschränken. Hierbei ist der Thermoschrank nicht mit einem Kühlschranks zu verwechseln, denn Flüssigkeiten in Kühlschränken haben eine Temperatur von ca. 8 bis 9 °C, auch Leitungswasser kommt mit dieser Temperatur aus der Leitung.

Betrachten wir nun die ausgekühlte Wachsmodellation, so wird deren Temperatur bei Zimmertemperatur liegen. Das Labor des Autors hat beispielsweise eine durchschnittliche Raumtemperatur von ca. 24 °C. So ist für die Wachsmodellation nun entscheidend, wie kalt die flüssige Einbettmasse ist, die sie plötzlich umschließt. Würde man nun die flüssige Einbettmasse im Kühlschrank bei 8 bis 9 °C lagern, hieße das, dass aufgrund der niedrigen Starttemperaturen bei der Abbindephase die chemische Reaktion viel später in Gang kommen würde. Das Durchmischen der Einbettmasse wäre also abgeschlossen, während die chemische Reaktion gerade beginnt. Die Folge wären viele kleine Bläschen im Guss, die erst nach dem Auffüllen der Muffel in der Einbettmasse entstanden sind.

Was passiert hier genau? Die Einbettmasse ist in dieser Phase sehr empfindlich und muss konstant verarbeitet werden. Durch das Anrühren von kalten Flüssigkeiten mit kalten Pulvern wird eine Temperatur der Einbettmasse von ca. 8 bis 12 °C erreicht. Die chemische Reaktion, die immer mit einer Temperaturzunahme verbunden ist, setzt erst verzögert ein. So ist nach der normalen Rührzeit die Masse immer noch sehr reaktionsträge und startet verzögert mit dem Abbinden der Einbettmasse. Gleichzeitig wird die Wachsmodellation, die eine Zimmertemperatur von ca. 24 °C hatte, schlagartig abgekühlt. Die Kontraktionsschrumpfung des Wachses, die durch das starke Auskühlen der Modellation ausgelöst wird, kann zu Rissen zwischen den Gusskanälen oder den Modellationsteilen führen. Das würde auch passieren, wenn man die Modellation unter fließend kaltes Wasser hielte. Sind diese Verzüge erst einmal entstanden, kann nichts in der Muffel sie wieder heilen. Auch wenn die Temperatur der Einbettmasse wenige Sekunden später stark ansteigt, bleiben die Risse und Verzüge bestehen. Risse in der Modellation können sogar mit Einbettmasse aufgefüllt worden sein.

Mit zunehmender Temperatur wird die Einbettmasse gelartiger und fester. Nach ca. 180 Sekunden ist die Masse so fest, dass die Partikel nicht mehr fließen und somit die Masse fest geworden ist. Die Abbindung selbst vollzieht sich dann innerhalb der nächsten 17 Minuten und entstehende Gasbläschen können nicht mehr austreten.



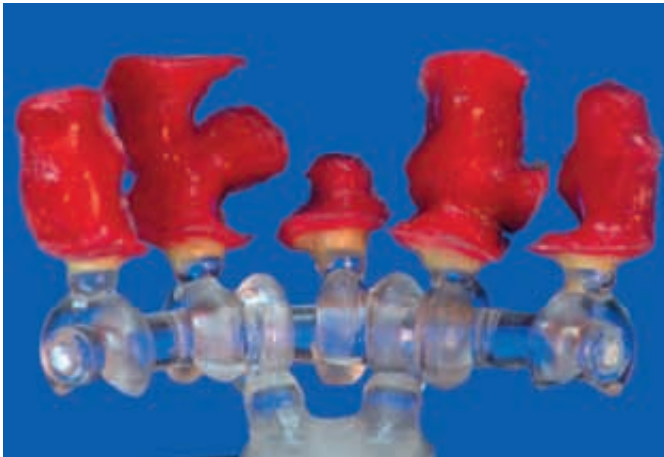


Abb. 1 bis 3 Edelmetalllegierungen und Inlays werden ein wenig zu klein eingestellt, da die Inlays dann leichter in den Ismus greifen und somit besser passen. Die Expansionssteuerung liegt hier bei 65 % Liquid.

Wenn man nun mit einer Anmischtemperatur von 17 °C beginnt, kann man nach dem Anrühren schon einen Temperaturanstieg auf ca. 19 bis 23 °C beobachten. So trifft die Einbettmasse die Wachsmodellation in einem thermischen Gleichgewicht.

Fest steht, dass die Wachsmodellation nach ihrem Abheben bis zum Einbetten sehr schnell die Umgebungstemperatur aufnehmen kann, wodurch Verzüge in der Wachsmodellation freigesetzt werden können. Da unkontrollierte Veränderungen die Präzision mindern, ist die Modellation nach dem Abheben umgehend einzubetten. Auch ist es wenig sinnvoll, eine aufgrund der Umgebungstemperatur verzogene Modellation einzubetten, da das Ziel der Einbettung hiermit verfehlt wird. Man bekommt aus der Muffel immer heraus, was man vorher einbettet.

Fragt man einen Zahntechniker, welche Expansionswerte er für seine Gussarbeiten einstellt, erhält man im Allgemeinen drei verschiedene Antworten, je nachdem, welche Gusstechnik er anwendet (Abb. 1 bis 8). Inlays werden anders eingebettet als Kronen und Brücken oder im klassischen Fall werden Teleskope mit anderen Expansionswerten angestrebt. Hier lernt man aus Erfahrung und Übung, wie sich Systeme<sup>3</sup> voneinander unterscheiden und wie brauchbare Ergebnisse eingestellt werden. Im Folgenden wird der Autor einige Überlegungen zu vernünftigen Arbeitsprozessen erläutern.



Abb. 4 bis 6 Edelmetalllegierungen und große Brücken mit massiven Zwischenteilen werden immer ein wenig zu groß eingestellt, da die Edelmetallbrücken dann besser passen. Die Expansionssteuerung liegt hier bei 85 % Liquid.



Abb. 7 und 8 NEM-Sekundärteleskope werden mit 100 % Liquid eingestellt.





**Speed-Guss.** Der Speed-Guss findet nach Regeln statt, die dem Zahntechniker sehr abstrakt erscheinen mögen. Vom Augenblick des Einbettens an, wenn Flüssigkeit und Pulver (Kieselöl und Phosphat) zusammengemischt werden, bis zum Einsetzen der Muffel im Ofen, dürfen in der Regel bei phosphathaltigen Einbettmassen<sup>13</sup> nicht mehr als 15 bis 20 Minuten verstreichen. Der wesentliche Kernpunkt dieser Einbettung besteht darin, dass die Abbindeexpansion, die eine thermische Aufheizung der Muffel bewirkt, noch nicht ihren Zenit erreicht haben darf und sich somit innerhalb dieser Abbindeexpansion noch verschiebbare Elemente in der Muffel befinden. Die Vorwärmtemperatur von 700 bis 900 °C (je nach Gusstechnik) übernimmt die Abbindeexpansion und überführt sie in die thermische Expansion.

Die starke Erwärmung der Einbettmasse über den äußeren Muffelbereich kann aber nur einwandfrei funktionieren, wenn die Expansion der Einbettmasse nicht endgültig abgeschlossen ist. Wartet der Techniker zu lange, hat die Einbettmasse ihre Abbinde überschritten. Dies führt zu Rissbildungen, die nicht immer ein unbrauchbares, aber häufig ein sehr unschönes Ergebnis zur Folge haben. Ab und zu kommt es auch vor, dass eine solche Muffel platzt, was eine komplette Wiederholung der Modellation zur Folge hat.

Auch wenn die Ofentemperatur bei 800 °C liegt, wird die Muffel diese Temperatur nicht sofort erreichen. Direkt nach ihrem Einstellen in den Ofen hat die Abbindeexpansion in der Muffel ihre Temperatur auf ca. 80 °C ansteigen lassen. Der Wärmeeintrag in der Muffel wird durch die Ofentemperatur weiter angehoben, allerdings nicht so, wie man es sich möglicherweise vorstellt.

Zuerst beginnt zu diesem Zeitpunkt das Kristallwasser in der Muffel zu siedeln. Der entstehende Dampfdruck lässt das Wachs aus der Muffel fließen und verbraucht einen Teil der Energie. Die Muffeltemperatur bleibt bis zu 10 Minuten lang unter 100 °C, nämlich so lange, wie sich noch Wasser in der Muffel befindet. Erst wenn die Einbettmasse komplett wasserfrei ist (Gesamtzeit vom Start bis zu diesem Zeitpunkt ca. 25 Minuten), erhöht sich die Temperatur in der Einbettmasse konstant mit dem einwirkenden Wärmeeintrag. In Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit der Einbettmasse wird die Kerntemperatur der Muffel je nach Muffelgröße konstant bis zur Ofeninnentemperatur ansteigen.

Dieser Prozess sollte in keinem Fall gestört werden,<sup>11</sup> weder durch das Öffnen der Ofentür noch durch das Dazustellen weiterer kalter Muffeln in die Ofenkammer. Dadurch würde der Temperaturanstieg in der Muffel stocken oder kurzfristig abgebrochen werden, die Konsequenz wäre eine geborstene Muffel.

Physikalisch betrachtet hat die Muffel schon genug damit zu tun, die einwirkende Wärme in den Muffelkern eindringen zu lassen und dabei am Muffelrand höheren Temperaturen standzuhalten, während im Zentrum die Temperatur noch weitaus niedriger ist. Die Expansionsspannungen werden zu diesem Zeitpunkt von außen nach innen weitergegeben. Dabei ist es wichtig, dass außen die Expansion höher ist als im Kern der Muffel. Eine Umkehrung dieser Expansion von innen nach außen könnte zum Bersten der Muffel führen. Also ist es wichtig, diesen Prozess geduldig abzuwarten und erst dann, nach Ablauf des computergesteuerten Vorwärmprogramms, perfekt abzugießen.

**Über Nacht gießen.** Ganz anders verhält es sich bei einer Muffel, die über Nacht vorgewärmt wird. Ein Beispiel: Gegen 17.00 Uhr wird der Ofen bestückt und die Ofenpro-



grammierung startet das Brennprogramm morgens um 4.30 Uhr. Pünktlich um 7.00 Uhr sind die Muffeln mit dem Ofensteuerungsprogramm, das die Expansionswerte genauestens einhält, gussfertig. Der Kristobalitsprung und die Haltezeiten stimmen exakt, ebenso sind die Muffeln nach dem Erreichen der Endtemperatur perfekt durchgewärmt und es erfolgt die eigentliche Gusstechnik. Enttäuschend ist hier häufig die schlechte Oberflächenbeschaffenheit der Gussoberflächen.

Trotz Einhaltung aller Parameter führt auch diese Gusstechnik nicht immer zu einem perfekten Ergebnis. Ein Grund ist, dass beim Vorwärmen über Nacht übersehen wird, dass das Kristallwasser in der Einbettmasse durch die Einlagerung in einem Vorwärmofen (der trockenste Ort in einem zahntechnischen Labor) vor dem eigentlichen Start des Ofens schon aus der Muffel gezogen wird. Das fehlende Kristallwasser, das beim Start des Ofens nicht innerhalb der Einbettmasse verdampft, führt nun dazu, dass sich die Muffel wie ein Schwamm mit Wachs vollsaugen kann und der eigentliche Vorgang des Wachaustreibens nicht stattfindet. So wird bei höher werdenden Temperaturen die Wachsmodellation in der Muffel verbrennen und nicht im Vorfeld durch den Wasserdampfdruck aus der Muffel gepresst. Die Kohlenwasserstoffverbindungen des Gusswachses werden durch die steigende Temperatur im Ofen aufgespalten, durch die Verbindung mit Sauerstoff entsteht Wasser und der verbleibende Kohlenstoff verbrennt in einem Oxidationsprozess mit Sauerstoff bei Temperaturen zwischen 400 bis 600 °C zu Kohlendioxid.

Da für diesen Prozess Sauerstoff benötigt wird und in einem Vorwärmofen ein Luftaustausch kaum stattfindet, ist der Anteil an Luftsauerstoff selten in ausreichender Menge vorhanden. Ferner führt die komplette Bestückung mit mehreren Muffeln, die in einem Aufheizzyklus aufgewärmt werden sollen, zu einem weiteren Luftdefizit und dem rapiden Ansteigen von verbrennbaren Wachsen und Kunststoffen. Auch durch die Aufnahme von Wachs in die Einbettmasse wird die Ablagerung von Kohlenstoff begünstigt. Selbst lange Vorwärmtemperaturen können den Kohlenstoff aus der Muffel nicht vollständig verbannen. Abhilfe kann hier das Verschließen der Muffel mit Wachs oder Zellophan schaffen. Wichtig ist, dass das Kristallwasser in der Muffel verbleibt.

Da das Aufheizprogramm frühmorgens in einem normalen Zyklus stattfindet und beim Abgießen der Muffel das Metall während des Verbrennens und der Aufnahme des Rest-Kohlenstoffs in das Metallgefüge mit diesem reagiert, sind die Gussoberflächen eben nicht so perfekt wie gewünscht.

All diese Faktoren sind nicht unbedingt ausschlaggebend, um sich für ein anderes System zu entscheiden, aber sie sind als Grundlage der Gussergebnisse immer von Bedeutung und sollten an dieser Stelle auch kurz angerissen werden.

### Die Gestaltung von Gussteilen

Da Wachsmodellationen in der anatomischen Form eine klar durch die Form geprägte Volumenstruktur aufweisen und dick- und dünnwandige Teile eng aneinanderliegen, müssen zur Erzielung fehlerfreier Güsse einige Regeln beachtet werden.<sup>10</sup> Kompakte Gussformen, wie sie beim dentalen Guss verwendet werden, besitzen eine vergleichsweise hohe Wärmekapazität. Während eine Muffel nach der Entnahme aus dem Ofen eine gleichmäßige Abkühlung durch die Umgebungsluft erfährt, bildet sich in ihr ein Temperaturfeld mit einer höheren Kerntemperatur in der Einbettmasse.

Zum Erhalt lunkerfreier Gussstücke muss der Erstarrungsverlauf in der Erstarrungsgeschwindigkeit klar strukturiert werden. Dieses erreicht man dadurch, dass nach Mög-





lichkeit dicke Gussformen im Zentrum und dünnerwandige Bereiche im Randbereich der Gussformen liegen. Die dickwandigen Bereiche des Gusskörpers bleiben länger flüssig, weil hier wesentlich mehr Wärmeenergie vorhanden ist. So können diese als Temperaturspeicher fungieren. Eine kontinuierliche Zuführung von einem dicken Querschnitt auf die eigentlichen Gussobjekte ohne Einschnürung dieser Querschnitte sorgt für ein ungehindertes Nachfließen der Schmelze, wodurch Fehler im Guss vermieden werden können.<sup>1</sup> So kommt es in einer Muffel durch das Einfließen flüssiger Schmelze zu einem veränderten Aufheizen der Einbettmassenstruktur. Außen liegt die Gussform relativ dicht an der Außenhaut der Muffel, diese wird durch die Abstrahlung der Wärme nach außen und nach innen ein relativ zügiges Abkühlverhalten aufweisen. Die Zulassungskanäle sowie die Verteiler werden durch den Kegel und den Gussteil nach innen aufgeheizt und erfahren im Wärmeabfluss den geringsten Wärmeverlust. So können diese Zonen als heißes Zentrum bezeichnet werden. Diese Bereiche halten die Wärme der Schmelze am längsten und gewährleisten ein Nachfließen bis zum Gusskörper.

Unvollständige Gussobjekte finden ihre Ursache oft in einer zu geringen Vorwärmtemperatur oder einer nicht ausreichend bis über die Liquidustemperatur aufgeheizten Schmelze. Eine weitere Ursache kann ein zu niedriger Luftdruck beim Druckvakuumssystem sein. Hierbei werden Oberflächenspannungen nicht überwunden oder die Zentrifugalkraft einer Schleuder reicht nicht aus.

Oberflächen von Gusskörpern im dentalen Bereich werden durch verschiedene Faktoren bestimmt. Durch feine Risse in der Formwand entstehen beim Auffüllen zirkuläre und häufig auch schildartig aussehende kleine Pressfahnen. Im Bereich der Ränder sind häufig auch Grate zu erkennen. Sieht die Oberfläche des Gusses runzlig oder rissig aus, liegt es häufig an zu niedrigen Gieß- und Vorwärmtemperaturen. Niedrigere Vorwärmtemperaturen der Muffel begünstigen häufig eine schnelle Abkühlung und damit eine relativ glatte Oberfläche, die eine Schalenbildung beinhalten kann. Eine niedrige Gießtemperatur führt zu glatten Oberflächen, da die Schmelze in der kurzen Zeit bis zur Erstarrung nicht in die einzelnen Poren der Form eindringen kann. So entsteht eine nicht perfekte, aber sehr glatte Oberfläche. Zu hohe Temperaturen der Schmelze oder der Form führen aufgrund der langsamen Erstarrung zu einer schwammigen und dendritischen Erstarrung und damit zu einer rauen Oberfläche. Grobkörnige Einbettmassen hinterlassen ebenfalls raue Oberflächen, da das Oberflächenrelief der Einbettmasse dies schon beinhaltet. Gussperlen am Objekt sind ursprüngliche Luftblasen, die sich beim Aufsteigen in der noch flüssigen Einbettmasse an das Objekt angehaftet haben und beim Guss ausgeflossen sind. Einschlüsse im Guss entstehen durch den Eintrag von Oxidresten aus dem Schmelztigel oder bei mangelnder Kantenfestigkeit durch das Mit- und Abreißen spitzer dünner Grate in der Einbettmasse. Während Lunker infolge der hohen Erstarrungsgeschwindigkeit durch mangelndes Nachfließen von Schmelze zu einem Aufreißen des Gusses führen, weil das Kontraktionsvolumen größer ist als das vorhandene Schmelzreservoir, entsteht hierdurch ein Formdefizit. Runde Kronenränder können bei einer sehr dichten, homogenen Einbettmasse entstehen, wenn Gase aus dem eingeschlossenen Bereich nicht entweichen können und so das Formfüllverhalten der Schmelze nicht zu 100 Prozent zulassen.

Solche Phänomene können durch Entlüftungskanäle, die die Modellation vestibulär ergänzen, reduziert werden. Die Erstarrung von Metallen beginnt in der Regel durch Kris-

tallisationskeime in der Schmelze, die durch ihre Anzahl und die Wachstumsgeschwindigkeit auch die Korngröße des Erstarrungsgefüges bestimmen. Sie sind so genannte hochschmelzende homogene Metallpartikel, Metallatome oder auch Fremdpartikel in der Schmelze, die als Ausgangspunkt der Erstarrung zu sehen sind und um die sich die restliche Schmelze homogen abgelagert. Ebenso stellt auch der Rand der Gießform eine Fremdoberfläche dar.

Während zur homogenen Keimbildung eine Unterkühlung der Schmelze unter den Schmelzpunkt stattfinden muss, ist dies zur heterogenen Keimbildung nicht erforderlich. Beim Gießen erfolgt die Wärmeabfuhr über die Wärmeabstrahlung aus der Gussform heraus. Die heterogenen Keime wachsen ins Innere der Schmelze, entgegengesetzt zum Wärmestrom. Bei homogenen Keimen im Inneren erfolgt das Wachstum immer in Richtung des Wärmestroms, d. h. der erstarrende Bereich ist durch die freiwerdende Erstarrungswärme heißer als die ihn umgebende unterkühlte Schmelze. An realen Gussstücken werden meistens Mischformen aus beiden Erstarrungstypen beobachtet. Ob sich nun eine einzelne Krone oder ein ganzer Ring mit vielen Kronen in einer Muffel befindet ist hier irrelevant. Das gleiche Prinzip kann man auch auf den Modellguss übertragen. Ob sich nun ein Modellguss oder drei Modellgüsse in der Muffel befinden, das ist für den Guss zunächst einmal nebensächlich.

Das Modell einer echten Modellgussarbeit aus Einbettmasse lässt eine weitere Anstiftung in einer Muffel nicht sinnvoll erscheinen, gäbe es nicht die Weiterentwicklung der Modellationstechnik für Modellgüsse.

#### Ausblick: Weiterentwicklungen in der Modellationstechnik

Lichthärtende Modelliermassen, die wie Wachsfertigteile für eine Modellgussmodellation benutzt werden können und ähnlich wie die alte Modellationstechnik funktionieren, machen den kleinen aber feinen Unterschied aus. Erstens können so die Modellgüsse direkt auf dem Meistermodell modelliert werden, zweitens können diese Modellationen durch UV-Licht polymerisiert werden und drittens kann man diese Modellationen problemlos und völlig verzugsfrei vom Modell abheben (Metacon und Metablue, primotec, Bad Homburg).

Verlegt man die Anstiftung zum dorsalen Modellrand, so kann man diese Modellation hochkant auf einem Sockelformer anstiften. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten, den Platz in einer Modellgussmuffel besser zu nutzen. Zwei oder drei Modellgüsse in einer Muffel sind damit problemlos einzubetten. Ebenfalls können Kombinationen vom NEM-Kronen und Modellgüssen in einer Muffel eingebettet werden.<sup>14</sup>

Da die Modellationen im direkten Abhebeverfahren hergestellt werden, sind auch die Anforderungen an die Gussexpansion identisch. Es gibt eben kein Einbettmassenmodell, welches beim Aufgießen der Form schon einmal die Abbindeexpansion der Einbettmasse erfährt und somit auch keine speziellen Modellgüsseinbettmassen, die diesem Umstand gerecht werden. Für die Gusstechnologie braucht man selbstverständlich die gleiche Kronen- und Brückeneinbettmasse wie für NEM-Brücken und -Kronengerüste.<sup>8</sup> Ist also die Metallauswahl identisch, so können diese Strukturen gemeinsam eingebettet werden. Das erspart Arbeit. Das Duplieren und die Herstellung eines Einbettmodells entfallen und so reduzieren sich dadurch auch die Herstellungskosten. Eine Einbettmasse für NEM und der Verzicht auf Silikonduplierungen beinhalten neben der Materialersparnis auch einen Zeitvorteil.



Abb. 9 Sowohl für die Metallringe als auch für die muffelfreie Gusstechnik bekommt man die Silikonform in allen Größen in eine einzige Grundplatte.



Abb. 10 Mehrere Modellgussgerüste können in einer Muffel angestiftet werden.

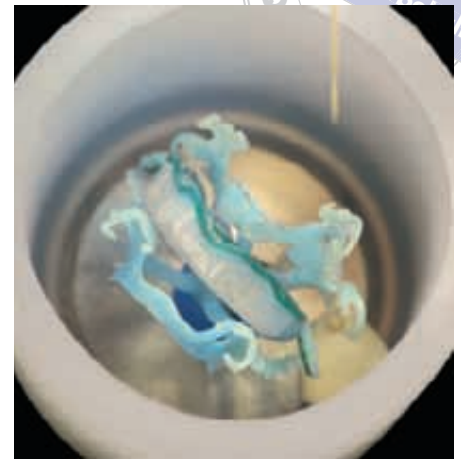


Abb. 11 Bei der Speed-Gusstechnik mit der speziellen Einbettmasse maruvest Speed kann für alle Metalllegierungen der Expansionswert perfekt eingestellt werden. Für Modellgüsse verwendet der Autor eine Konzentration von ca. 98 % Liquid, um die Expansion einzustellen.



Abb. 12 bis 14 Das Eingießen der Einbettmasse kann problemlos unter Sichtkontrolle erfolgen.

Beim Anstiften mehrerer Modellgüsse in einer Muffel kommt es auf die richtige Platzierung an. Dabei kann es manchmal notwendig sein, den Gusstrichter nicht im Zentrum der Muffel zu platzieren, sondern den Wert auf die richtige Position der Gussteile in der Muffel zu legen (Abb. 9 bis 16). Ein Franzose war es, Etienne Brand, der diesen Gedanken zu Ende gedacht und ein Einbettssystem entwickelt hat, das dem Techniker die Möglichkeit bietet, individuelle Gussformen in Höhe und Durchmesser so auszuwählen, dass mit einem Minimum an Einbettmasse ein Maximum an Gusstechnik erzielt wird (Abb. 17). Spezielle Stahlgrundplatten (Abb. 18), die die Silikonringe für eine ringfreie Muffelform oder die Metallringe sauber an der Grundplatte fixieren, gestatten es, den Metallring oder die ringfreie Einbettung zu wählen. Der eigentliche Clou ist jedoch ein Magnet im Gusstrichter, der die Modellation aufnimmt und auf der Trägerplatte



Abb. 15 und 16 Das Ausbetten erfolgt durch vorsichtiges Freistrahlen der Gussstrukturen mit Korund.

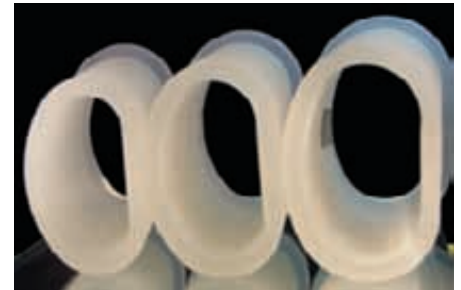


Abb. 17 bis 19 Die halbrunde Form und drei verschieden große Radien der Grundplatte lassen vom kleinen bis zum großen Guss alles zu.

verschiebbar macht. So kann der Techniker die Position der Modellation in der Muffel nach dem Anstiften auf der Grundplatte verschieben und damit die perfekte Position in der Muffel einstellen. Unabhängig davon ob eine kleine Muffel oder der Gussriese gebraucht wird, dieses System bietet viel Platz für wenig Material.

Die Steuerung von Einbettmassen wurde bereits beschrieben, bedarf aber noch einer Ergänzung. Die halbrunde Muffelform, die für den Guss dieses Systems geschaffen wurde, nimmt Rücksicht auf die Position der Gussobjekte und kann bei geschickter Platzierung auch sehr große Gusskörper besser steuern als eine komplett runde Muffelform (Abb. 19). Eine 14-gliedrige Brücke ist in der Regel kein geschlossener Kreis, sondern entspricht in seiner Grundform eher einem Halbkreis. Genau die Form, die großen Brücken entgegenkommt. Expansion in einer Muffel geschieht immer dreidimensional, dabei werden in den drei Raumachsen alle Areale gleichmäßig expandieren. Eine runde Muffelform bringt somit auch den Teil der Expansion mit in die Muffel, in dem sich nichts außer der Einbettmasse befindet. Dieses Areal führt bei der Expansion leider zu überzogenen Werten. Der Verzicht auf diese Masse und die Reduzierung der Muffel auf eine gleichmäßig zirkulär im gleichen Abstand verlaufende Muffelgeometrie wie die der Modellationsform ermöglicht erstaunlich gute Gussergebnisse.

So etwas hat schon lange gefehlt und so kommt zusammen, was zusammengehört. Dieses Gussystem ist seit der IDS 2009 auf dem Markt (Et-click®, dental news, Wolxheim, Frankreich) (Abb. 20 und 21). Erhältlich dazu gibt es auch die passende Einbettmasse maruvest Speed, mit der der Autor sehr gute Ergebnisse erzielt hat (Abb. 22). Diese Einbettmasse ist speziell für lichthärtendes Wachs geeignet und lässt sich sehr





Abb. 20 und 21 Die Modellation kann auf der Grundplatte frei verschoben werden.



Abb. 22 bis 24 Die Einbettungsexpansion mit maruvest-Speed-Einbettmasse für den Speed-Guss wird mit ca. 95 % Liquid auf NEM-Gerüste eingestellt.





gut in der Expansion aussteuern (Megadental GmbH, Bündingen). Die Expansionssteuerung geht von 0,5 % bis 3,4 %, je nachdem welche Flüssigkeit und welche Konzentration der Anmischflüssigkeit gewählt werden. Somit eignet sich diese Spezialeinbettmasse hervorragend für Aufbrennlegierungen, Edelmetalllegierungen und edelmetallfreie Legierungen (Abb. 23 und 24). Sie lässt dem Zahntechniker alle Möglichkeit der individuellen Einstellung auf sein Gussystem sowie auf seine eigene Gussphilosophie.

#### Literatur

1. Brämer W. Einfluß von Schmelzverfahren auf die Qualität von metallischem Zahnersatz. Dent Labor 1995;43:1227-1230.
2. Darwish M, Mülders C, Holze R. Der Einfluß von Zusammensetzung und Gussverfahren auf Gefüge und Korrosionsverhalten dentaler Legierungen. Dtsche Zahnärztl Z 1996;51:101-105.
3. Dreyer K. Prüfergebnisse zahnärztlicher Gussverfahren. Dtsch Zahnärztl Z 1958;13:461-469.
4. Eichner K. Anwendung von Metalllegierungen in der Zahnheilkunde. ZWR 1983;92:28-36.
5. Eichner K. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Band 1. Heidenberg: Hüthig, 1996.
6. Franz G. Einbettmassen. In: Eichner K (Hrsg.). Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung, Band 1. Heidelberg: Hüthig, 1988:25-47.
7. Kappert HF. Probleme der Gusstechnik aus werkstoffkundlicher Sicht. Zahnärztl Mitt 1986;76:2305-2314.
8. Kimmel K. Gusstechnik bei den Nichtelegierungen fordert Innovationen. Zahnärztl Mitt 1982;72:864.
9. Kyselowa J, Kysela B, Mares J. Der Einfluss der Gussapparate auf das Vorkommen der Defekte in Dentalgüssen. Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1959;69.
10. Marx H. Über den Einfluss des Gussverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung. Dtsch Zahnärztl Z 1967;22:1228-1235.
11. Modlmayr ML. Temperaturmessung in der Gussmuffel während des Schleudergusses und des Abkühlens von Dentallegierungen. Aachen: Med. Diss., 1993.
12. Ohnmacht P, Schmitt U, Zimmermann-Chopin R. Phosphatgebundene Einbettmassen. Quintessenz Zahntech 2000;26:361-373.
13. Thiel H. Der Einfluss von systemgerechten Ein- und Ausbetten auf das Gussergebnis. Quintessenz Zahntech 2001;27:1366-1376.
14. Weber H. Betrachtungen und Hinweise zum Guß edelmetallfreier Legierungen. Quintessenz Zahntech 1983;9:1075-1081.

#### Adresse des Verfassers

ZTM Andreas Hoffmann, Dentales Service Zentrum  
Ludwig-Erhard-Straße 7b, 37434 Gieboldehausen  
E-Mail: info@1dsz.de