



Theresa Flachsenberg,* 1987
Georgia Harjes,*1988

Schule:
Philipps-Universität Marburg

Eingang der Arbeit:
Dezember 2009

Zur Veröffentlichung angenommen:
Januar 2010

Zahnkronen aus Zucker

Entwicklung eines Phantomkomposits für die Ausbildung von Zahnmedizinstudenten

In der zahnmedizinischen Lehre werden Kronen aus Gusswachs modelliert, einem zahntechnischen Material, welches am Patienten nicht verwendet wird. Wir suchten deshalb nach einem Ersatzstoff, der sich wie ein Komposit für Zahnfüllungen verarbeiten und wie Wachs aus der Gussform ausbrennen lässt. Das von uns entwickelte „Phantomkomposit“ stellt eine Verbesserung der Lehre in praktischen Kursen dar.

1. Einleitung

Studenten der Zahnmedizin werden bereits in den ersten Semestern der Ausbildung auch in ihren handwerklichen Fähigkeiten und Fertigkeiten geschult. Dies beginnt in Marburg im *Kurs der zahnmedizinischen Propädeutik* bereits im 1. Semester, bei dem gleichzeitig grundlegendes Wissen über Zähne und Zahnformen vermittelt wird.

Eine wichtige „Disziplin“ ist das Modellieren von Zähnen mittels der Aufwachstechnik, bei der beide Lerninhalte vereint sind: Die Gesetzmäßigkeiten der Zahnformen müssen erkannt und handwerklich vollendet in die Tat umgesetzt werden.

Als Werkstoff dient Gusswachs, genauso wie in der Zahntechnik. Es lässt sich im erhitzten Zustand beliebig formen, um

dann wieder zu erkalten und damit zu erstarrten. Ziel am Ende ist die Herstellung einer Zahnkrone aus Metall: Die fertig modellierte Wachskrone wird mit feuerfestem Material umgossen, es entsteht eine Gussform, die auch als Muffel bezeichnet wird. Vor dem Guss wird die Muffel erhitzt. Dadurch schmilzt das Wachs aus der Hohlform heraus bzw. wird vollständig verbrannt; es entsteht ein „Negativ“. Dieser Vorgang wird in der Zahntechnik als „Ausbrennen“ bezeichnet. In die vorgewärmte Form wird dann das heiße flüssige Metall gegossen (Abb.1).

Nun ist es allerdings so, dass ausbrennfähiges Wachs in der Zahnheilkunde bei der Patientenbehandlung keine Verwendung findet. Häufig stellt sich den Studenten deshalb die Frage, warum sie mühsam die zahntechnische Aufwachstechnik erlernen müssen. Unsere Idee war daher, das

Wachs durch ein lichthärtbares Komposit zu ersetzen. Mit diesem Werkstofftyp legt der Zahnarzt täglich Füllungen. So würde der Umgang mit einem Füllungsmaterial bereits zum Beginn der Ausbildung erlernt werden.

Konventionelle Komposite kommen dabei nicht in Frage, da diese mineralische Füllstoffe enthalten. Deshalb sind sie nicht ausbrennfähig. Eine in konventionellem Komposit gefertigte Krone ist also nicht geeignet als Vorlage für den Metallguss. Es stellt sich die Frage, ob auch organisches Material als Füllkörper einsetzbar ist, denn dieser Stoff wäre dann möglicherweise ausbrennfähig.

Letztendlich haben wir einen Füllstoff gesucht, der in Verbindung mit einer Kunststoffmatrix in seinen Eigenschaften eine Kombination aus Komposit und Wachs

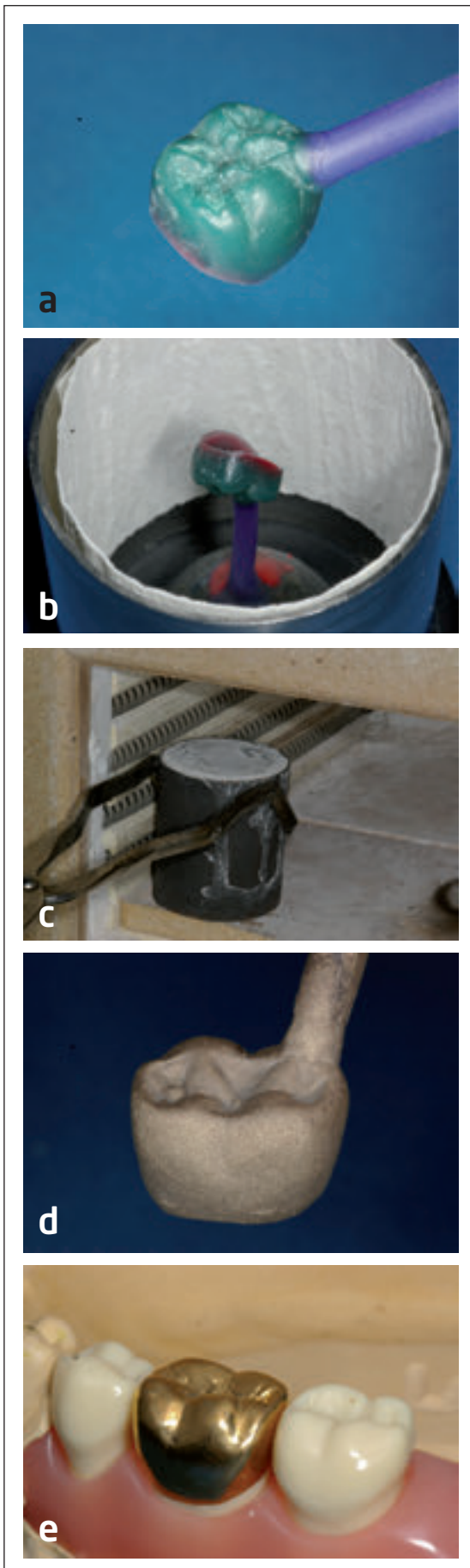


Abb. 1: Arbeitsschritte einer Vollgusskrone: a) Fertige Wachsmodellierung mit Gusskanal b) Angestiftete Wachschrone in der Muffel c) Auswachsen im Ofen d) Unbearbeitetes Gussobjekt e) Ausgearbeitete Krone am Phantompatienten eingepasst

darstellt: Es soll sich um einen Füllungswerkstoff handeln, der aus organischer Substanz besteht und sich trotzdem in die Kunststoffmatrix so einfügt, dass ein kompositähnliches Material entsteht. Die Verarbeitungstechnik dieses Komposits lehnt sich an die herkömmlicher Komposite an (modellierbar, lichthärtbar, schleifbar). Zusätzlich muss gegeben sein, dass das Komposit ausbrennfähig ist und der Schrumpf bei der Erhärtung nicht zu hoch ist.

2. Materialien und Versuchsansatz

2.1 Komposite und Füllkörper

Komposite sind Füllungsmaterialien, die aus einer organischen Kunststoffmatrix und sich darin befindenden anorganischen Partikeln, sog. Füllkörpern, bestehen. Es handelt sich um eine pastöse Substanz, die in den meisten Fällen durch Bestrahlung mit blauem Licht im Munde des Patienten gehärtet wird.

Ein wichtiger Unterschied zwischen den handelsüblichen Kompositen liegt in der Art und Größe ihrer Füllkörper. Sie beeinflussen – neben der Kunststoffmatrix – die mechanischen Eigenschaften wie Härte und Abrasionsfestigkeit. Die Silanschicht, mit der die Füllkörper umgeben sind, verbindet diese fest mit der sie einschließenden Matrix.

Auch haben die Füllkörper erheblichen Einfluss auf die effektive Polymerisations-schrumpfung: Sie verändern ihr Volumen nicht, sondern nur die Kunststoffmatrix. Daher kann die Gesamtschrumpfung durch Zugabe von Füllkörpern reduziert werden.

Man unterscheidet bei Kompositen aufgrund Größe und

Zusammensetzung der Füllkörper so genannte Makrofüllerkomposite (Füllkörperdurchmesser >10 µm), Mikrofüllerkomposite (0,01 – 0,1 µm) und Hybridkomposite (< 10 µm).

2.2 Wachs

Wachse sind chemische Verbindungen, die den Fetten ähnlich sind. Sie bestehen aus höheren Fettsäuren und höheren einwertigen Paraffinalkoholen. Natürliche Wachse enthalten auch freie Fettsäuren, Alkohole, Kohlenwasserstoffe sowie Harze.

Nach einer Definition der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaft aus dem Jahre 1954 ist „Wachs eine Sammelbezeichnung für eine Reihe natürlicher oder künstlich gewonnener Stoffe, die bei 20°C knetbar oder fest bis brüchig hart, grob bis fein kristallin, durchscheinend bis opak, jedoch nicht glasartig ist. Es schmilzt über 40°C ohne Zersetzung, ist oberhalb des Schmelzpunktes verhältnismäßig niedrig-viskos und nicht fadenziehend, hat eine stark temperaturabhängige Konsistenz und Löslichkeit, und ist unter leichtem Druck polierbar.“

Zu den natürlichen Wachsen zählen pflanzliche, tierische und mineralische Wachse sowie Harze.

Für die Modellation von Kauflächen und Kronen wird in der Zahntechnik sogenanntes Gusswachs mit folgenden Eigenschaften eingesetzt:

- Rückstandsfrei ausbrennfähig
- Bei Zimmertemperatur verhältnismäßig hart, kann durch Schaben verarbeitet werden
- Geschmolzen dünnflüssig bei gleichzeitig hoher Oberflächenspannung
- Unerwünscht sind die thermische Erstarrungskontraktion sowie Dimensionsänderungen bei der Lagerung

2.3 Anforderungen an Phantomkomposit

In der zahnmedizinischen Ausbildung ist es üblich, Arbeiten und Materialien für simulierte Patientenbehandlungen mit der Vorsilbe „Phantom-“ zu bezeichnen. Da auch unser Material für die Herstellung von studentischen Übungsarbeiten, sog. Phantomarbeiten, verwendet werden soll, bezeichnen wir es im folgenden als Phantomkomposit.

Wir definierten anhand der oben beschriebenen Eigenschaften der Komposite und der Wachse ein Anforderungsprofil, das unser zu entwickelndes Phantomkomposit erfüllen muss, wenn es als Ersatzmaterial für das Wachs, aus dem Kronen modelliert werden können, tauglich sein soll. Folgenden Anforderungen muss das Phantomkomposit gerecht werden:

- ähnlich wie Füllungskomposite modellierbar, d.h. pastös sowie thixotrop,
- vollständig ausbrennbar,
- lichthärtbar, aber nicht zu empfindlich (ausreichende Verarbeitungszeit)
- niedriger Schrumpf
- schleifbar
- ungiftig/ nicht allergen

3. Versuche zur Kompositentwicklung

3.1 Versuchsansatz und Vorversuche

Da wir nach neuen Füllkörpern suchten, war unser Ausgangsmaterial lichthärtbare Monomerflüssigkeit, in die man theoretisch beliebige pulverförmige Stoffe einmischen kann. Als Flüssigkeit verwendeten wir zum einen c&b Liquid der Firma Kulzer (Hanau), das in der Zahntechnik als Modellierflüssigkeit bei der Verarbeitung von Verblendkompositen verwendet wird. Es enthält Dimethacrylate, als Inhibitor Hydrochinon und Akzelatoren. Die genaue Rezeptur wird vom Hersteller nicht genannt. Außerdem setzten wir uns in Verbindung mit der Firma Voco (Bremen), die uns speziell für diese Versuche ein weiteres lichthärtbares Monomer zur Verfügung stellte. Es handelt sich hierbei um eine Bondingflüssigkeit, die im Verhältnis 2:1 Bis-GMA-Monomer (=Bisphenyl-A-Glycidyl-Methacrylat) und TEDMA (Triethylenglycoldimethacrylat) enthält, als Initiator der Lichthärtung ist Campherchinon zugesetzt worden.

Unser Leitkriterium war die Ausbrennfähigkeit des Komposits, weshalb der gesuchte Füllkörper organischer Natur sein müsste. Er soll im Monomer ebenso wenig löslich sein wie die anorganischen Füllstoffe in konventionellem Komposit. Wir haben vermutet, dass wir unter diesen Vorgaben am ehesten eine geeignete Konsistenz finden würden.

Leicht und kostengünstig zu beschaffende Pulver finden sich „in der Küche“. Nachfolgend aufgeführte Stoffe haben wir gemischt und auf ihre Konsistenz hin getestet: Zimt, Zitronensäure, Sahnesteif, gemahlene Gelatine, Glukose, Fructose,

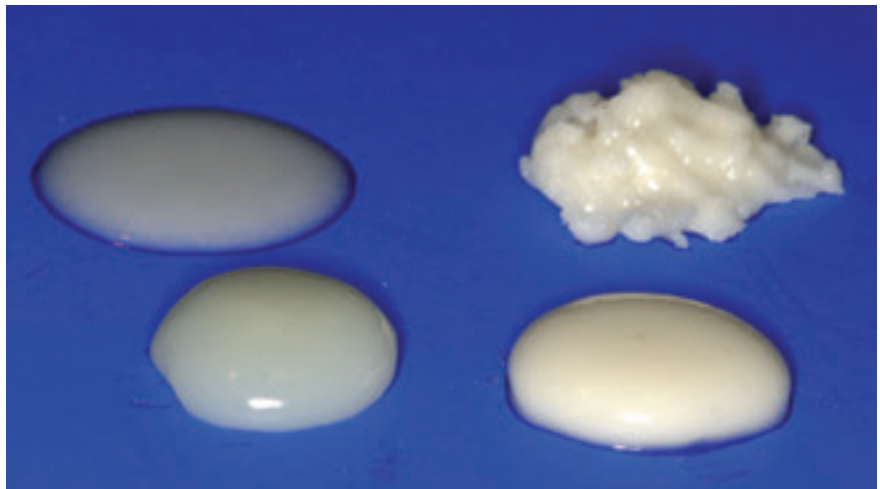


Abb. 2: Konsistenzvergleich verschiedener Kompositmischungen; oben links: zu flüssig angerührtes Phantomkomposit, oben rechts: zu fest (bröckelig) angerührtes Phantomkomposit, unten rechts: gut angemischtes Phantomkomposit, unten links: handelsübliches Komposit

Saccharose, Backpulver, Kartoffelstärke, Mehl, Einmachhilfe, Curry, Saucenbinde etc.

Die meisten dieser Stoffe ergaben keine modellierbare Konsistenz, sie war entweder zu flüssig oder zu trocken und damit bröselig. Mischungen mit ansatzweise hinnehmbaren Konsistenzen probierten wir im Folgenden zu verbrennen. Sie verhielten sich unterschiedlich bezüglich der Geschwindigkeit und der Intensität des Verbrennens; immer blieben Überreste.

Gute Ergebnisse hinsichtlich der Konsistenz und dem Brennverhalten erhielten wir mit Puderzucker: Die Mischung wurde thixotrop und annähernd so zäh wie übliche Füllungskomposite. Deshalb eignete sich Puderzucker am besten für weitere Versuche (Abb.2).

Von den beiden Flüssigkeiten waren Verbindungen mit dem Vocomonomer klebrig, weshalb wir dem glatter fließenden c&b-Liquid den Vorzug gaben.

3.2 Versuche mit Puderzucker

3.2.1 Bestimmung des Mischungsverhältnisses:

Die Vorversuche hatten ergeben, dass Puderzucker (Saccharose, $C_{12}H_{22}O_{11}$) als Füllstoff geeignet sein könnte. Deswegen haben wir das Mischungsverhältnis von Monomerflüssigkeit und Puderzucker bestimmt, bei dem sich die kompositähnlichste Modellierbarkeit einstellt. Eine genaue Mengenkontrolle ermöglicht die Reproduzierbarkeit.

In eine bekannte Menge Flüssigkeit mischten wir Puderzucker, dessen Anteil wir schrittweise erhöhten. Dabei stellten

wir fest, dass sich die Konsistenz stetig verbesserte, bis sie nach einem Bereich des Optimums schlagartig bröckelig und unbrauchbar wird. Ein möglichst hoher Füllkörperanteil ist wünschenswert, um eine geringe Polymerisationsschrumpfung zu gewährleisten. Durch Wiegen des Gemisches mit dem höchst möglichen Füllkörperanteil ließ sich das Mischungsverhältnis berechnen.

Mit den Materialien c&b Liquid und Puderzucker berechneten wir einen Zuckeranteil von 73%.

3.2.2. Ausbrennversuche

Als nächstes folgten bei unserem Vorgehen Ausbrennversuche mit dem nun bekannten Mischverhältnis. Dabei wurden verschiedene Proben längere Zeit bei 300 °C im Auswachsosen und 750 °C im Vorwärmofen erhitzt.

- Vocomonomer mit Puderzucker: mittelschnelles Ausbrennen
- c&b-Liquid mit Puderzucker: schnelleres Ausbrennen

3.2.3. Versuch zur Brennbeschleunigung

Zwar verbrannte die Verbindung mit Puderzucker, allerdings gab es noch Mängel hinsichtlich der Überreste und vor allem der Brenngeschwindigkeit. Um diese zu beheben arbeiteten wir mit uns bekannten Brandbeschleunigern:

Eisen-III-Chlorid (Hexahydrat) als Katalysator brachte keine Verbesserung und verhinderte zudem die Lichthärtung. Trockenspirit „Esbit“ (Urotopin, $C_6H_{12}N_4$) brachte eine Beschleunigung im Brennofen. Dabei stellte sich heraus, dass es als fein gemörstertes Pulver auch

als eigenständiger Füllkörper in Frage kommen könnte. Kalium- und Natriumnitrat (KNO_3 , $NaNO_3$) als Sauerstofflieferanten führten zu einer beinahe restlosen Verbrennung. Zigarettenasche als Katalysator brachte nur geringe Vorteile und ist vor allem unpraktisch in der Anwendung.

3.2.4 Esbit als Füllkörper

Nachdem wir Esbit fein gemörsert hatten, fiel uns auf, dass es Puderzucker sehr ähnlich ist. Daher wiederholten wir die zuvor mit dem Zucker durchgeführten Versuchsschritte mit dem Trockenspirit. Tatsächlich ergaben sich ähnliche Eigenschaften in der Mischung mit dem Monomer, der Füllkörperanteil lag ebenfalls bei ca. 70%. Ausbrennversuche ergaben gute Ergebnisse, allerdings waren keine erheblichen Unterschiede gegenüber dem Puderzucker zu verzeichnen.

3.2.5 Mikroskopischer Vergleich von Puderzucker und Urotropinpulver:

Bei Betrachtung der verschiedenen Füllkörper unter dem Mikroskop war kein Unterschied zu erkennen: Beide hatten die Form winziger, zersplitterter Kristalle, sie glänzten gleich und bildeten gleichartige „Klumpchen“ bei Anhäufung, die sich schwierig voneinander trennen ließen.

3.2.6 Schrumpfung

Ein niedriger Schrumpfung der Kunststoffmodellation ist von enormer Wichtigkeit, da die angefertigte Krone nach Lichtpolymerisation noch auf den Modellstumpf (präparierter Zahnstumpf) passen muss, sich also nicht verformen darf. Zum Vergleich des Schrumpfens unseres angemischten Kunststoffes dienten die Polymerisationsschrumpfungswerte von handelsüblichen Kompositen.

Zur Bestimmung des linearen Schrumpfens konnten wir in der Zahnklinik ein spezielles Messgerät nutzen. Ergebnis unserer Messungen war, dass die Werte zwischen 1 und 1,5 % lin. lagen. Mit derselben Messtechnik wurden für Füllungskomposite Werte im Bereich von 0,32 bis 1,35 % lin. gemessen.

3.2.7 Einfärben

Zur Unterscheidung der einzelnen Elemente einer Kauflächen werden diese

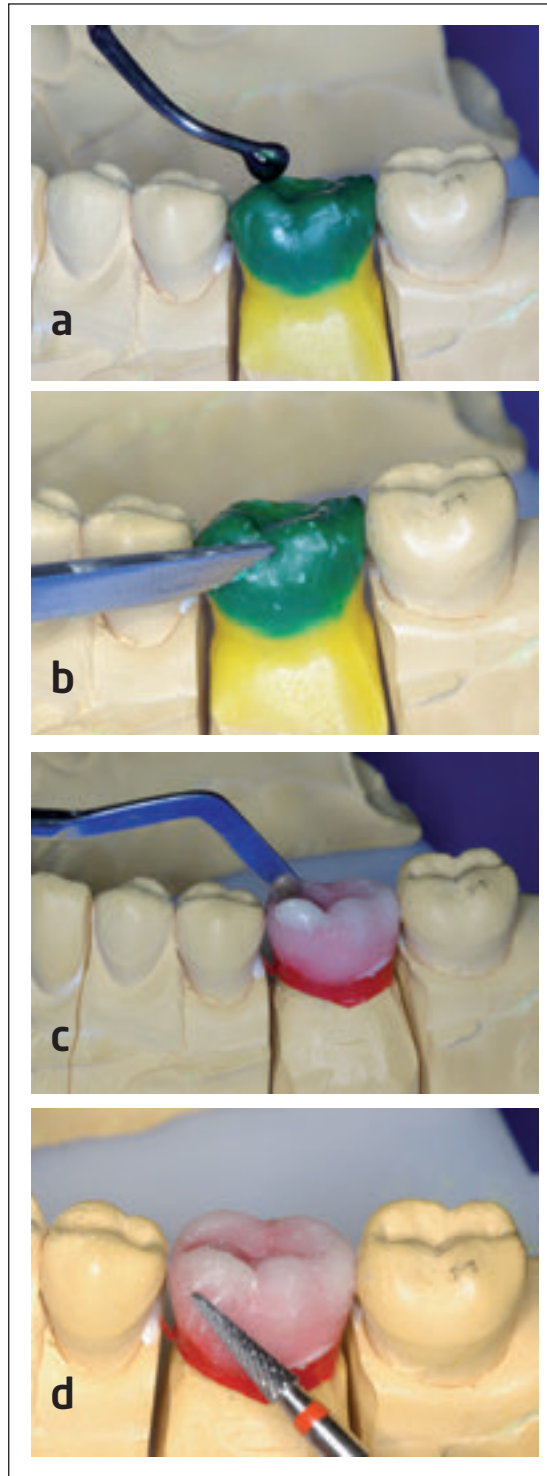


Abb. 3: Verarbeitung der Materialien Wachs/ Komposit a) Schrittweises Aufwachsen mit heißem, flüssigem Wachs mit Hilfe einer Sonde b) Korrektur der Wachsmodellation durch Schaben mit einem Handinstrument c) Portionsweiser Auftrag von Phantomkomposit auf bereits gehärtetes Material d) Entfernen von Phantomkompositüberschüssen durch maschinelles Schleifen

zu Lehrzwecken normalerweise in verschiedenfarbigen Wachsen modelliert. Um diesen Effekt beizubehalten, wollten wir unser Phantomkomposit ebenfalls einfärben. Dazu eignen sich organische Farbstoffe, so zum Beispiel pulverförmige Ostereierfarben. Wir verwendeten E122 für rot, E104 und E110 für gelb, E132 für blau.

3.2.8 Isolation

Erste Versuche ergaben, dass die Phantomkomposite mit Zucker oder Urotropin als Füllstoff trotz Einsatz von Isoliermitteln fest auf dem Gipsmodell hafteten, so dass sich das Kronenkäppchen in der Regel nicht ohne Zerstörung vom Gipsstumpf entfernen ließ. Deswegen sind wir dazu übergegangen, den Stumpf mit einer dünnen ausbrennfähigen Kunststoffolie zu überziehen, die sich zwar mit dem Phantomkomposit verbindet, aber nicht auf dem Modell haftet. Bei dieser Folie handelt es sich um die 0,1 mm „Platzhalterfolie“ aus dem Adapta-Tiefziehsystem der Firma Bego. Auf diesem hauchdünnen Kunststoffkäppchen kann mit dem Phantomkomposit die Krone modelliert werden.

4. Modellationsversuche

Bei der Modellation hat das Phantomkomposit ähnliche Verarbeitungseigenschaften wie ein echtes Füllungskomposit: Es muss in kleinen Portionen aufgetragen und lichtgehärtet werden. Zuerst wird die Außenkontur der Krone aufgebaut, dann schrittweise die Kaufläche aus ihren Elementen. Im Überschuss aufgetragenes Material muss durch maschinelles Schleifen entfernt werden. Das ist schwieriger als das Entfernen von zu hoch aufgetragenem Wachs, das durch einfaches Schaben mit scharfkantigen Handinstrumenten entfernt werden kann. Der Zahnarzt muss allerdings beim Legen von Füllungen genauso verfahren (Abb.3).

Um die Umsetzbarkeit des Arbeitens mit unserem Phantomkomposit im besagten Zahnärztlichen Propädeutikkurs zu testen, baten wir eine Erstsemesterstudentin, eine Krone mit unserem Kunststoff zu fertigen. Dies gelang ihr mit Erfolg, das Objekt wurde gegossen und erfüllte die Erwartungen an eine Gusskrone.

5. Resümee

In der Zahntechnik gibt es lediglich flüssige und knetbare ausbrennbare Komposite. Sie erfüllen spezielle zahntechnische

Anforderungen sehr gut, sind jedoch nicht als Trainingswerkstoffe zum Erlernen der Modellation von Kaufflächen brauchbar.

Bislang wurden Überlegungen, Komposite so zu modifizieren, dass sie für die beschriebene Phantombildung einsetzbar sind, anscheinend noch nicht in die Tat umgesetzt. Hintergrund dafür ist u. a., dass die Zielgruppe „Studenten“ nicht von wirtschaftlichem Interesse ist und sich daher die Forschung für Firmen nicht zu lohnen scheint.

Wir haben mit unseren bescheidenen Mitteln sicher kein perfektes Phantomkomposit entwickelt, denn das Ausbrennen benötigt noch mehr Zeit als das

Ausbrennen von Wachs. Es ist uns aber gelungen, einen Weg aufzuzeigen, wie die zahnärztliche Ausbildung verbessert werden könnte. Nicht die zahntechnische Verarbeitung von Gusswachs sollte trainiert werden, sondern die Verarbeitung von Materialien, mit denen wir als Zahnärztinnen später jeden Tag zu tun haben werden. Die meisten Studierenden der Zahnmedizin kommen erst im 6. Fachsemester mit Füllungsworkstoffen in Berührung. Unsere Idee war daher, die Verarbeitung von Komposit mit bestehenden Lehrinhalten, den Herstellungsschritten einer Gusskrone, zu kombinieren. Somit würde man schon die ersten Semester praxisorientierter gestalten.

Die Grundidee, dem zahntechnischen Material Gusswachs im Studium weniger

Bedeutung beizumessen, sollte weiter verfolgt werden.

Danksagung

Durchgeführt haben wir unser Projekt im Bereich Propädeutik der Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre der Zahnklinik Marburg. Wichtigster Ansprechpartner, auch in Bezug auf unsere Teilnahme am „Jugend forscht“-Wettbewerb, war Professor M. Gente. Außerdem bekamen wir Unterstützung von den Oberärzten und den Assistenten, die unsere Arbeit mit Interesse verfolgten. Des Weiteren bedanken wir uns bei der Firma Voco und der Firma Kulzer für die Bereitstellung von Versuchsmaterialien.

Literatur:

- [1] Richter, B.: Werkstoffkunde. Skript zur Vorlesung Werkstoffkunde von Prof. Lehmann, 2. Auflage, Selbstverlag der Fachgruppe Zahnmedizin
- [2] Gente, M.: Testatheft und Anleitungen für den Kursus der Zahnmedizinischen Propädeutik, Sommersemester 2008
- [3] Lehmann, K. M.; Hellwig E.: Zahnärztliche Propädeutik, 10. Auflage, Urban & Fischer Verlag, 2005
<http://www.dgfett.de>
- [4] O. Yanovskyy, M. Salihovic, F. Neiser, M. K. Döbritz, J. Chalupa, M. Gente: Untersuchungen zur linearen Schrumpfung von Kompositen, im Druck, ZWR 119 (2010), Das deutsche Zahnärzteblatt, Thieme Verlag