

EXKLUSIV-AUSGABE FÜR ABONNENTEN

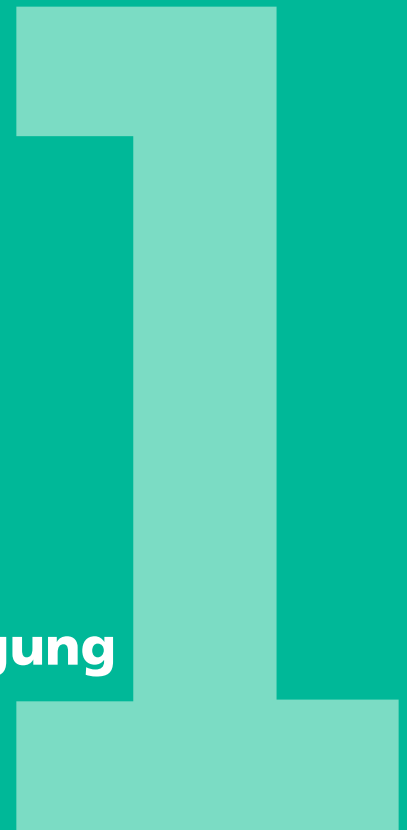
das dental

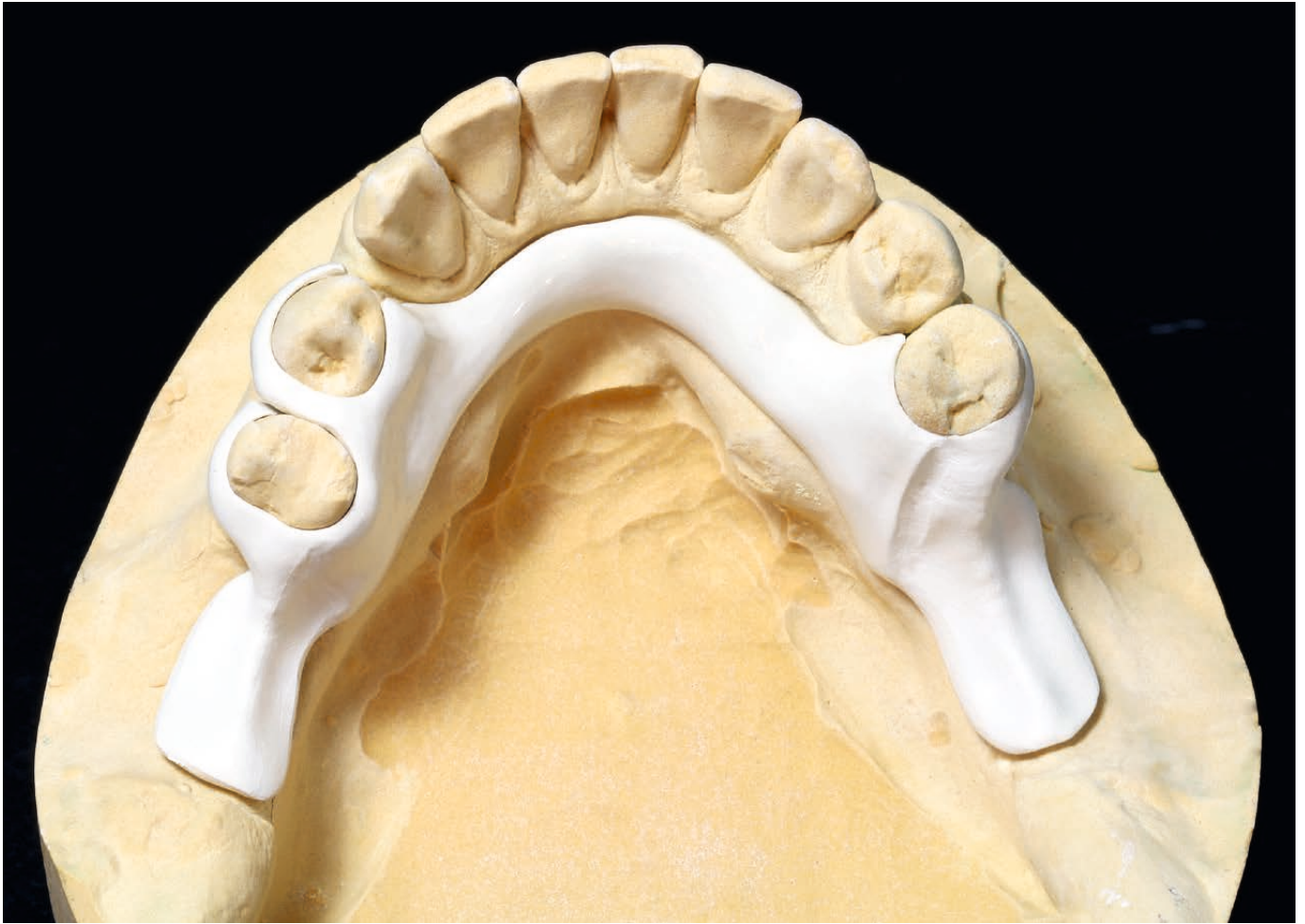
labor

B2129 E

DIE GANZE WELT DER MODERNEN ZAHNTECHNIK

- ▶ **„Klammer-Modellgüsse“
aus Hochleistungspolymeren**
- ▶ **Rasante Innovationszyklen –
augenfällige Ergebnisse**
- ▶ **Ökonomische Implantatversorgung**





„Klammer-Modellgüsse“ aus Hochleistungspolymeren

Unser Autor Martin Wepler verglich Modellgüsse aus PEEK hinsichtlich Funktion und Design mit Modellgüssen aus Metall – und gelangte zu erstaunlichen Ergebnissen.



Autor
ZTM Martin Wepler,
Weingarten
weplerschwarzwald@gmail.com
www.dentalgerade.de

„KLAMMER-MODELLGÜSSE – das ist Arme-Leute-Prothetik. Schlecht bezahlt, aufwendig, unästhetisch – eine Mischung aus Zahnersatz, kieferorthopädischem Gerät und am Rande der Zumutbarkeit für den Patienten.“ Oft fällt noch das Attribut „Extraktionsgerät“. Solche Kommentare bekommt man landauf, landab zu einer Versorgungsform zu hören, die nach wie vor in großer Zahl angefertigt wird, weil es für manche Patienten die einzig mögliche darstellt.



► 1 „Klammer-Modellgüsse“ aus Hochleistungskunststoffen. Eine echte Alternative zu Modellgüssen aus EMF-Legierungen?

(Bildquelle: Juvora Dental)

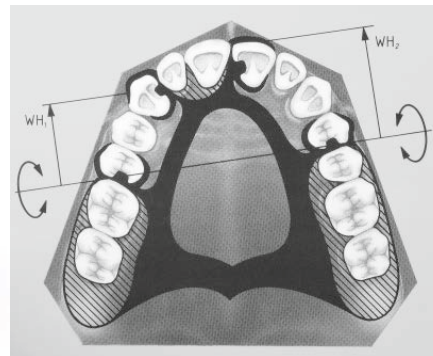
Das Gros dieser Modellgüsse wird auf klassische Weise aus den vertrauten Modellguss-Legierungen gefertigt. Dieser Artikel befasst sich mit der Fragestellung: Lassen sich Klammer-Modellgüsse alternativ auch aus PEEK und anderen Hochleistungspolymeren herstellen? Streng genommen nicht, da nichts gegossen wird und schon gar nicht auf ein Modell. Nein auch deshalb, weil sich die Klammerprothesen aus PEEK und anderen Materialien in vielen und wesentlichen Punkten massiv und reziprok von den aus Metall gefertigten Teilprothesen unterscheiden. Aus Gründen der leichteren Kommunikation wollen wir jedoch beim Ausdruck Modellguss bleiben.

Propagiert wird er, der „Mogu“ aus Polymeren. Aber, wir wissen, bei Licht betrachtet, nichts darüber, wie viele Betriebe oder Praxislabors in Deutschland denn nun wirklich Klammer-Modellgüsse für den permanenten Einsatz fertigen. Es gibt keine mir bekannten relevanten Zahlen zur Patienten-Population, die solche Arbeiten trägt. Und genau besehen haben wir auch keine echte klinische Breitband-Erfahrung zu dieser Indikationslösung.

Die zentrale Fragestellung:

Wie lauten die Grundsätze eines Klammer-Modellgusses aus Metall? Und sind diese auf Modellgüsse aus Polymer übertragbar – und auch relevant?

Mit einem Klammermodellguss gehen ganz bestimmte konstruktive Merkmale einher, die wiederum mit dem verwendeten Material zusammenhängen und hierdurch das Aussehen und die Funktion bestimmen und nicht so einfach auf ein Polymer übertragen werden können. Die vollständige Lehre, wie ein Modellguss konstruiert werden muss, basiert auf den mechanischen Kenndaten der verwendeten Legierung.



► 2 Alle Beschreibungen in unseren Lehrbüchern zur Konstruktion von Klammer-Modellgüssen basieren auf der Verwendung von Metall-Legierungen

Immer wieder sieht man Bilder von Klammer-Konstruktionen aus Polymeren, die so konstruiert wurden, als wären sie aus einer federharten Co-Cr-Mo-Legierung. Aber ist dies so überhaupt machbar, richtig oder sinnvoll? Sollten bzw. müssen wir Konstruktionen aus Polymeren nicht deutlich modifizieren?

These:

Eine Klammerprothese aus PEEK darf, soll bzw. muss deutlich anders als ein Modellguss aus Modellgusslegierung design und konstruiert werden.



► 3 Testarbeit, die bewusst wie ein Modellguss aus einer Legierung konstruiert wurde. Müssen wir nicht deutlich von solchen Geometrien abweichen, wenn wir mit Hochleistungskunststoffen arbeiten? Diese sehr passgenaue Arbeit wurde in nur einer Stunde und 15 Minuten herausgefräst.

(Bildquelle: MedicalMillingCenter/ Köln)

Die Theorie – Vorgaben, Ziele und Aufgaben eines Modellgusses

Elemente, welche die Kinetik der Teilprothese beeinflussen, sind die Halte- und Stützelemente (Parodont) und die Prothesenbasis (Tegument). Als Stützzonen werden Gebiete eines Zahnes bezeichnet, welche die Belastungskräfte an das Parodont weitergeben.

Ziel ist es, einen herausnehmbaren Zahnersatz herzustellen, dessen Kinetik so gering wie möglich ist. Die Elemente, welche die Kinetik der Teilprothese beeinflussen, sind die Halte- und Stützelemente (Parodont) und die Prothesenbasis (Tegument). Die Stützzonen an einem Zahn sind die Areale, welche die Belastungskräfte möglichst vertikal auf das Parodont weitergeben.

Anforderungen an eine Modellguss-Konstruktion

- Spannungsfreier Sitz in situ
- Körperliche Fassung – verhindert ein Herauswandern des Zahnes
- Okklusale Abstützung: Verhindert ein Absinken der Prothese und leitet vertikale Kräfte in möglichst zentrischer Richtung in das Parodont (Kaukräfte werden auf das Parodont übertragen)
- Optimale Schubverteilung: Der Klammeroberarm verteilt horizontale Kräfte und fungiert als Schienungselement
- Optimale Retention: Diese soll ein Abheben bei Zug, zum Beispiel durch klebrige Speisen, verhindern. Diese Retention ist abhängig vom Widerstand des verwendeten Werkstoffes und von der Größe des Retentionsfeldes
- Optimale reziproke Wirkung: Jedes auf einen Zahn einwirkende Kraftmoment sollte durch ein gegen gerichtetes, etwa gleichgroßes Moment neutralisiert werden
- Optimale körperliche Passung
- Optimale Passivität in Ruhelage

Die klassischen Konstruktionsprinzipien basieren nach wie vor auf statischen Grundlagen, wie sie zum Beispiel von Brunner und Kundert 1988 bzw. Graber 1992 beschrieben wurden. Unter anderem ist nach einer Belastung innerhalb des Abstützungspolygons (parodontales Stützfeld) zu streben – dieses minimiert die Gefahr einer Lageveränderung des Zahnersatzes. In vielen Fällen kann eine Belastung außerhalb des Stützfeldes nicht verhindert werden, zum Beispiel in den prothetischen Kennedy-Klassen I, II und IV. Hier sollte ein möglichst langer Widerstandsarm (Lastarm) geschaffen werden. Bei Belastungen außerhalb des Abstützungspolygons kommt es entlang des Hebelarms zur Rotation um die Rotationsachse, was durch einen entsprechend langen Widerstandsarm verhindert wird. Die statischen Anforderungen sind komplex und lassen sich selbstverständlich nicht nur auf den Sattel oder die Basis reduzieren. Der Kräfteausgleich, der Halt und die stabile Lagerung sind für das



► 4 Funktionieren solche Stützzonen bei der Verwendung von zum Beispiel Juvora-PEEK, wie hier zu sehen, langfristig?

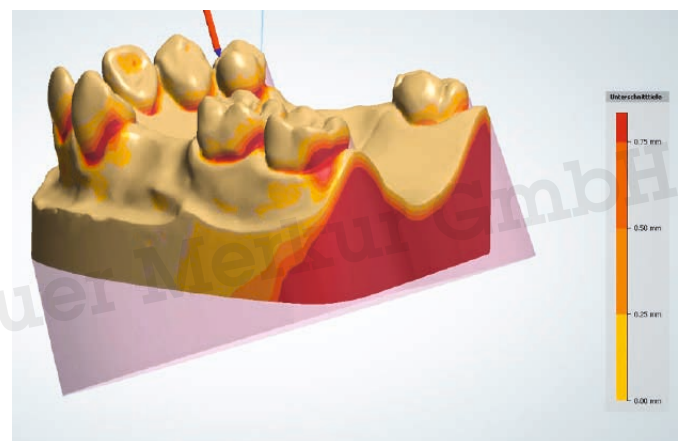
(Bildquelle: Juvora Dental)

langfristige „Funktionieren“ einer Modellguss-Prothese Voraussetzung.

Aber: Alle an eine Modellguss-Prothese gerichteten Forderungen und sämtliche damit zusammenhängende Konstruktionsrichtlinien wurden auf Basis der seit vielen Jahren verwendeten, speziellen Co-Cr-Mo-Legierungen ausgearbeitet.

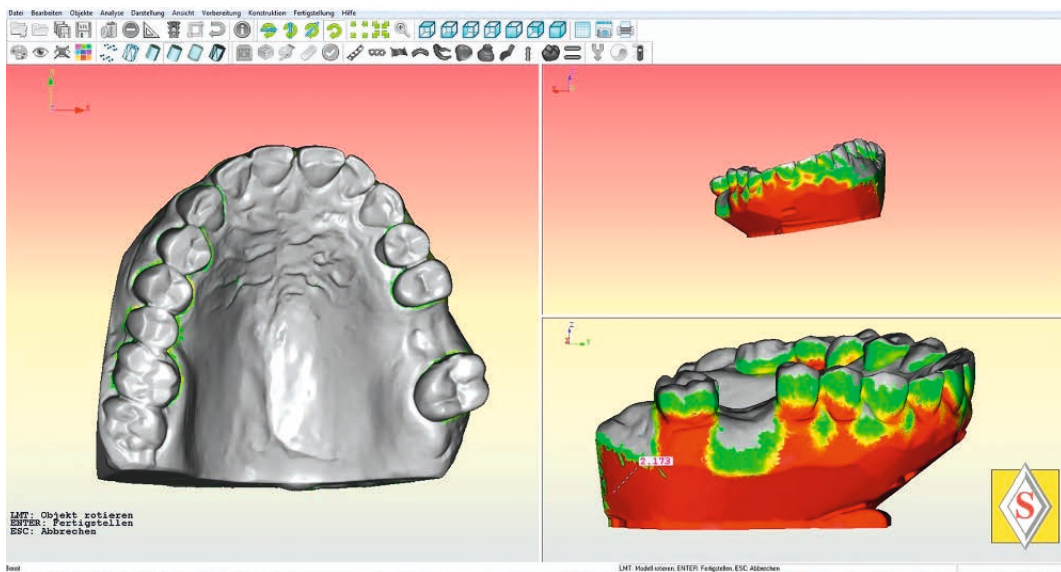
Welche Retention benötigt ein Klammermodellguss? Wie viel erträgt der Pfeilerzahn?

Die in CAD-Programmen graphisch dargestellten Unterschnitte basieren in der Regel auf den Grundlagen der Ney-Lehre.

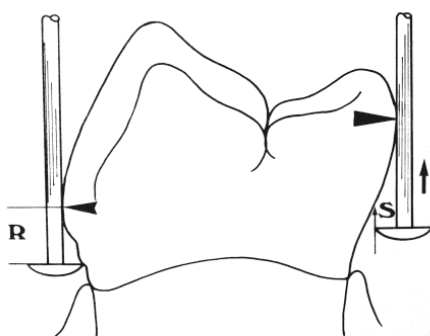


► 5a und ► 5b Die gängigen CAD-Programme benutzen in ihrer Darstellung die klassische Einteilung der Unterschnitte nach Ney

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Weppeler)



Die dort ermittelten Werte sind auf ein E-Modul von 100 000 N/mm², also auf eine Edelmetalllegierung abgestimmt worden. Die Klammervermessung, welche unter anderem die Ney-Company (Bloomfield, Connecticut, USA) in den 1950 er Jahren vorstellte, sollte es möglich machen, Klammern mit annähernd gleichen Haftkräften an allen Parodontien herzustellen. Das Neysche Klammersystem basiert auf drei verschiedenen Unterschnittstellern, welche eine Einteilung in drei mögliche Federwege (klein, mittel, groß) erlauben, und auf extra hierfür definierten, unterschiedlichen Klammertypen. Das System setzte sich jedoch nicht wirklich durch.



6 So haben wir es gelernt: Analoge Messung des Unterschnittes nach der Ney-Lehre mit dem passenden Ney-Teller

Anfang der 1980er Jahre arbeitete ich mit einem System, das 1974 von ZTM H. Bitter eingeführt und von der Firma Degussa unter dem Namen Bios- bzw. Rapid-Flex-System vertrieben wurde. Es hatte den Anspruch, auf der Basis des Hookschen Gesetzes, die Klammerlänge, aufgrund des vermessenen Unterschnitts so zu bestimmen und zu modellieren, dass definierte Retentions- und Abzugskräfte vorhanden sein sollten. Auf bestimmte, klar definierte Klammerformen wie beim Ney-System musste nicht rigide geachtet

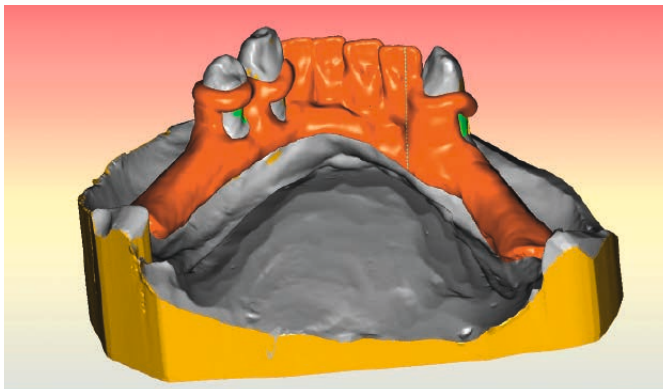
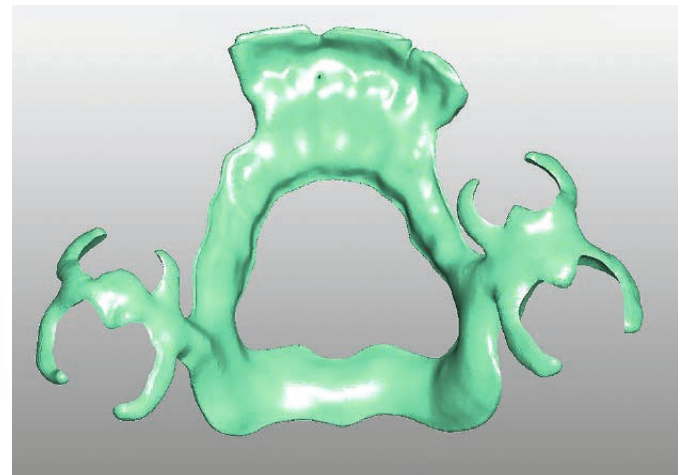
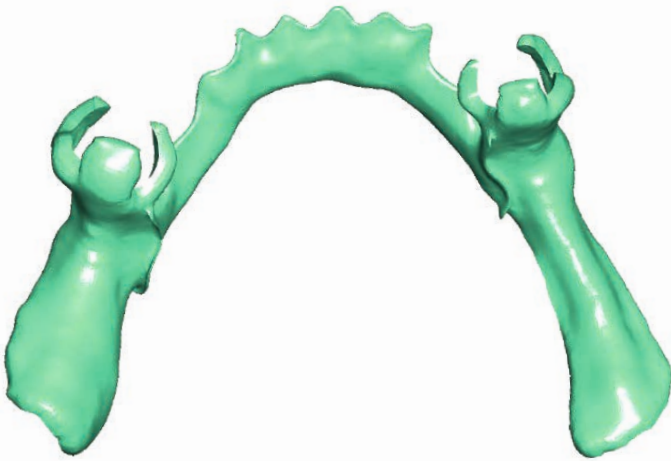
werden. Durch solche konstruktiven Maßnahmen sollte nicht nur die große Unbekannte „Retentionskraft“ reproduzierbar konstruiert werden können, sondern auch die reziproke Wirkung (siehe oben) beim Herausnehmen der Prothese erzielt werden. Außerdem ist eine Passivität bzw. nicht fühlbare Kraft in der theoretischen Nulllage, in der geplanten Passivität, fraglich. Wie passiv fühlt sich eine Modellgussprothese tatsächlich an? Ich habe es im Selbstversuch getestet. Es erinnerte mich an Skistiefel, die man abends gerne wieder auszieht, so schön das Skifahren auch gewesen sein mag.

Ich habe mir als junger Techniker zwei Klammermodellgüsse mit je einer Bonwill und einer E-Klammer pro Quadrant und einem großen Verbinder in Form eines Transversalbandes bzw. eines Sublingualbügels – ohne Sattel – konstruiert. Beide hatten, gefühlt auf dem Modell, etwas zu wenig Retention und ließen sich soft auf dieses aufsetzen.

Im Mund dagegen vermittelten die Modellgüsse das Gefühl einer Schienung. Passung und Ausgliederung waren in Ordnung. Die Imponderabilien der Abformung, Dublierung, Gipsexpansion und Einbettmasse-Steuerung zeigten ihre Ergebnisse. Auf den Klammerzähnen war ein zwar dezenter, aber auf Dauer unangenehmer Druck zu spüren. Auch das Metall fühlte sich, aufgrund der ihm eigenen Wärmeleitfähigkeit, fremd an. Nach zwei Tagen Tragezeit war das Gesamtgefühl geringfügig besser. Von Passivität, wie bei einer gut gefertigten Krone, die man nach wenigen Tagen schlicht und ergreifend nicht mehr bemerkt, kann allerdings keine Rede sein.

Sind „Modellgüsse“ aus Polymeren die bessere Lösung?

Heute frage ich mich, ob der Einsatz eines Hochleistungskunststoffs nicht zu einem angenehmeren „Skistiefel“ füh-



7a bis 7c In immer mehr Laboratorien werden solche Konstruktionen aus PEEK für den permanenten Einsatz auf Wunsch der Behandler und/ oder Patienten regelmäßig gefertigt

(Bildquelle 7a und 7b: DL Kneibelsberger/ Karlsruhe, 7c: dentalgerade/ M. Wepler)

7c Design mit Sila CAD (Siladent)

ren könnte. Patienten, die den direkten Vergleich haben, bestätigen dies. Wie aber sieht es mit den anderen funktionellen Gegebenheiten aus, die eine Klammerprothese erfüllen muss? Wie sieht es mit der Nachhaltigkeit aus – hier in erster Linie die Reparaturfähigkeit bzw. Erweiterbarkeit, die Wasseraufnahme der Materialien und deren Oberflächenrauigkeiten, die beide wiederum eng mit der Plaqueanlagerung verknüpft sind.

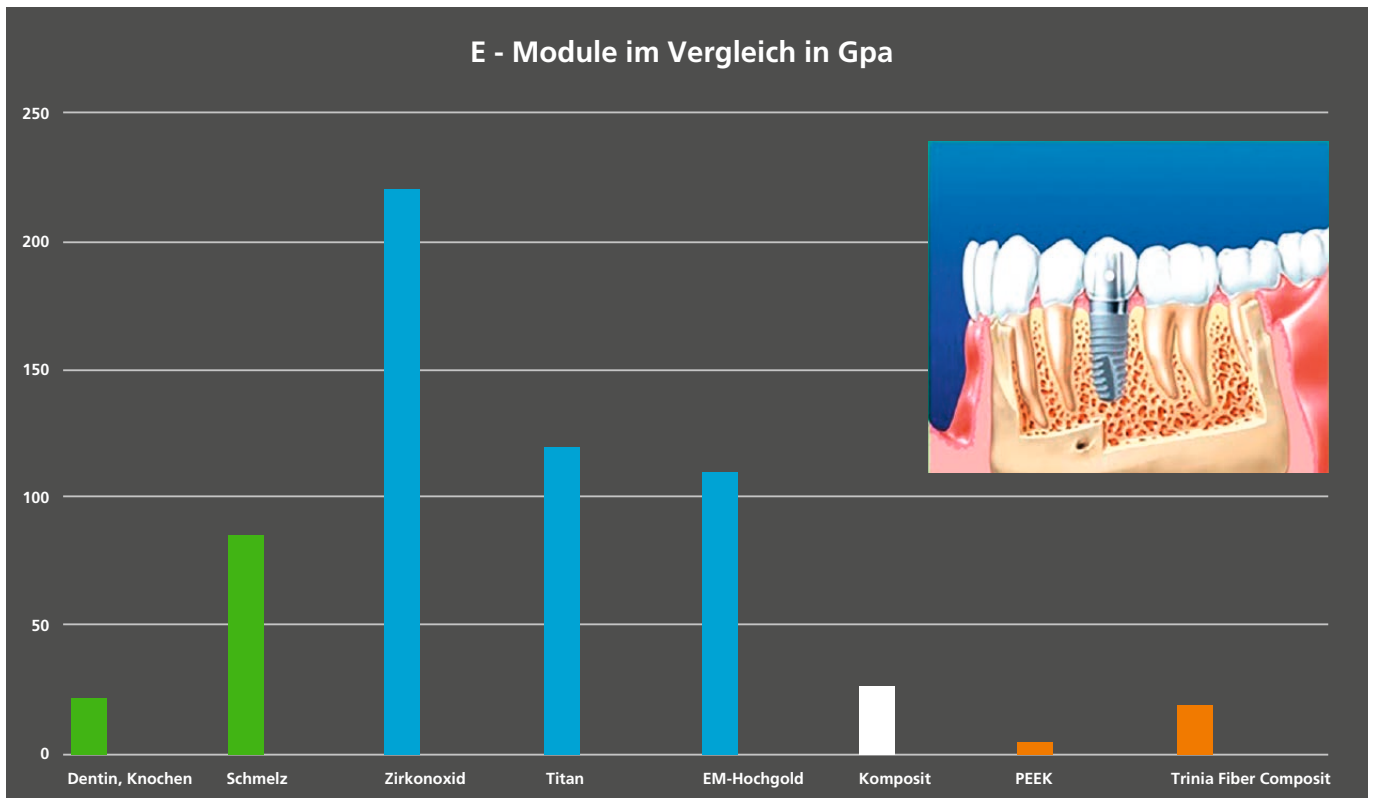
Untersuchungen zu Klammerprothesen aus Polymeren

Es gibt Untersuchungen zu Klammern aus Acetal-Werkstoffen (POM), glasfaserverstärkten Kunststoffen und PEEK. Nicht aber zu kompletten Modellgüssen. Die Universität Kiel [4] untersuchte Klammern aus PEEK,



8 Klammern aus Acetal (POM) erlauben zwar eine sehr hohe Aufbiegung und können in sehr tiefe Unterschnitte hinein konstruiert werden, stellen aber nach meiner Erfahrung, aufgrund der geringeren Bruchfestigkeit, Steifigkeit und geringen Verfärbungsresistenz, keine solide, permanente Versorgungsform dar

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)



► **9 Bruch- und biegefesten Hochleistungspolymeren (orange) besitzen, im Gegensatz zu Metallen und Keramiken, ein dem Knochen ähnliches bzw. identisches E-Modul und haben ein gutes mechanisches Potential für die hier diskutierten Indikationslösungen**

(Quelle: dentalgerade/ M. Weppeler)

PEEK und POM. Wichtig für den Praktiker sind folgende Aussagen: Kunststoff-E-Klammern mit einer Dicke von 1,5 mm zeigten mit 4,9 bis 9,1 N die geforderten theoretischen Werte. Die mit identischer Dimensionierung konstruierten Klammern aus Cr-Co-Mo-Legierung zeigten mit 11,3 bis 16,3 N um den durchschnittlich berechneten Faktor 2 höhere Retentionskräfte. Im Umkehrschluss würde dies bedeuten, dass wir Klammern aus Hochleistungspolymeren doppelt so stark dimensionieren müssen wie Klammern aus Modellgusslegierung. Bei den Unterschnitten zeigten sich solche von mehr als 0,5 mm bei Acetal als ideal. Die getesteten Klammerprofile zeigten im Dauer-Abzugsversuch eine Ermüdung bei der Retentionskraft, die jedoch noch im klinisch vertretbaren Bereich lag. Die ermittelten Ergebnisse stellen somit keine völlige Überraschung dar, wenn man die mechanischen Kenngrößen der verwendeten Polymere zugrunde legt.

Eine Studie der LMU München (Poliklinik für zahnärztliche Prothetik) [7] befasste sich intensiv mit dem Thema Teilprothesenklammern aus PEEK. Als Master-Klammer fungierte eine Klammer 45/46, im Design grob angenähert an eine Bonwill-Klammer, wie sie bei metallischen Klammer-Modellgüssen Usus ist. Die verwendeten Unterschnitte lagen in der vorliegenden Veröffentlichung bei 0,7/1 mm. Verglichen wurden Klammern aus gepresstem PEEK (bredent, Senden) und solchen, die aus Blanks von gefülltem PEEK (Dentokeep/nt-trading, Karlsruhe und breCAM Bio HPP/ Bredent, Sen-

den) herausgefräst wurden, mit klassisch gegossenen Klammern (Remanium GM 800+/Dentaurum, Ispringen). Hier ergibt sich schon der erste, kritische Betrachtungspunkt bezüglich der verwendeten PEEK-Materialien. Es wurde nur gefülltes bzw. dotiertes PEEK verwendet.

Als Ergebnis ergab sich eine 2,8 bis 3,7-fach höhere Abzugskraft der Bonwillklammer aus Metall als die gemessenen Abzugskräfte der diversen PEEK-Klammern. Die höchsten Abzugswerte zeigten das Dentokeep, gefolgt vom BioHPP Granulat und dem breCeram BioHPP, wobei bedacht werden muss, dass die Metallklammern eine für einen Modellguss unrealistische Dimensionierung aufwiesen, die nicht gemäß des E-Moduls einer Cr-Co-Mo-Legierung konstruiert, sondern analog zu den PEEK-Klammern designt wurden.

Mechanische, biologische und ästhetische Betrachtungen

Mechanisch – Die ideale Retentionskraft einer Klammer

Die ideale Retentionskraft einer Klammer liegt bei 5 bis 10 N (1). Berechnet wird diese Kraft mit der Formel:

$$F = E \times D \times U : L$$

(Kraft = E-Modul × Klammerquerschnitt × Unterschnitttiefe : Klammerlänge)

Dass dies primär eine technische Formel ist, deren tatsächliche, punktgenaue Umsetzung und Verifizierung bzw. Validierung im praktischen Alltag mehr als schwierig sein dürfte, ist wohl nicht abzustreiten. Aber wie können wir dann die tatsächliche Funktion einer Klammer beim relevanten Patientenfall bewerten? Was erwartet der Praktiker, wenn er einen neuen Werkstoff betrachtet?

Erste Forderung:

Unser Werkstoff muss so beschaffen sein, dass wir die angebotenen Unterschnitte der jeweiligen dentalen Situation in einer Weise nutzen können, dass eine dauerhafte Retention mit den idealisierten Werten (theoretisch) möglich ist.

Frage: Ist dann mit einem solchen Werkstoff auch eine patientengerechte Konstruktion (Ästhetik, Volumen) machbar?

Zweite Forderung:

Diese Retention muss nach multiplen Aufbiegungen der Klammern noch klinisch vorhanden sein.

Frage: Was ist klinisch realistisch, wie oft wird eine Klammer im Mund aufgebogen?

Dritte Forderung:

Das Material darf, nach den zu erwartenden multiplen Aufbiege-Zyklen nicht derart ermüden, dass es zum einen die Retentionskräfte nicht mehr erzielt, zum anderen bei den zu erwartenden physiologischen, situationsbedingten Kräften, die darauf wirken, nicht bricht.

Frage: Wann darf bzw. kann dieser Zeitpunkt eintreten?

Vierte Forderung:

Das Material darf bei einer ungewollt hohen initialen Belastung nicht sofort brechen.

Frage: Über welchen Kraftwert sprechen wir?

Unterschiede im Material – mechanisch, biologisch, ästhetisch

Hochleistungspolymere sind völlig anders als Modellguss-Legierungen. Aber auch die Polymere sind sehr unterschiedlich. Acetal (POM) ist mit PEEK nicht vergleichbar, Nylon-Werkstoffe nicht mit Acetal.

Im Folgenden dient der Werkstoff PEEK als Vergleichs-Polymer.

Für den Praktiker, der die Praktikabilität eines Werkstoffes für Klammern einschätzen möchte, sind die Werte für die Bruch- bzw. Biegefestigkeit, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und E-Modul, die es abzugleichen gilt, wichtig.

PEEK

PEEK-Werkstoffe, wie zum Beispiel das ungefüllte chirurgische PEEK Optima LT1 / Invibio, besitzen eine Zugfestigkeit von 100 MPa, eine Biegefestigkeit von 164 MPa, eine Bruchdehnung von 40 Prozent und einen E-Modul von 3,9 GPa.

Extraharte bzw. federharte Modellgusslegierung

Wir vergleichen die PEEK-Werte mit den Werten des bei der Münchner Untersuchung verwendeten Remaniums GM 800+ von Dentaforum. Dies besitzt eine Zugfestigkeit von 960 MPa, eine Bruchdehnung von vier Prozent und ein E-Modul von 230 GPa. Die Bruchdehnung wird bei Legierungen in der Regel nicht angegeben. Dentaforum bietet eine Modellgusslegierung mit einer Bruchdehnung von elf Prozent (Remanium GM 280) an mit dem Zusatz: „Eine hohe Bruchdehnung verhindert den Bruch von Klammern.“ Dass Klammern aus Metall brechen und dies der häufigste Grund für Reparaturen darstellt, zeigen Untersuchungen – wie oben beschrieben.

Vergleicht man nun direkt die Werte für ungefülltes PEEK mit denen einer Klammer-Modellgusslegierung, erkennt man sehr schnell, dass hier völlig unterschiedliche Werkstoffe vorliegen. Müssen wir deshalb über Modifikationen beim Design unserer Konstruktionen nachdenken und darüber, weshalb trotz der exorbitant hohen mechanischen Werte der Modellguss-Legierungen dennoch Klammern abbrechen?

PEEK versus Metall

PEEK hat zwar nur eine Zugfestigkeit von 100 MPa, also einem Neuntel dessen, was beispielsweise die Legierung Remanium GM 800+ aufweist, besitzt aber im Gegenzug dazu eine um den Faktor 10 höhere Bruchdehnung, ist also wesentlich plasto-elastischer. Das würde bedeuten, dass wir vorhandene Unterschnitte wesentlich konsequenter nutzen könnten, sofern die übrigen Kräfte, die im Laufe der Lebenszeit einer Prothese, im materialverträglichen Rahmen blieben. Dies tun sie jedoch nicht. Demgegenüber steht nämlich die Tatsache, dass hohe, ungewollte initiale Biegekräfte aufgrund eines unsachgemäßen Handlings des Patienten einem deutlich geringeren E-Modul und geringeren Rückstellkraft des PEEK gegenüberstehen und das Material zwar äußerst gering, aber messbar Feuchtigkeit aufnimmt.

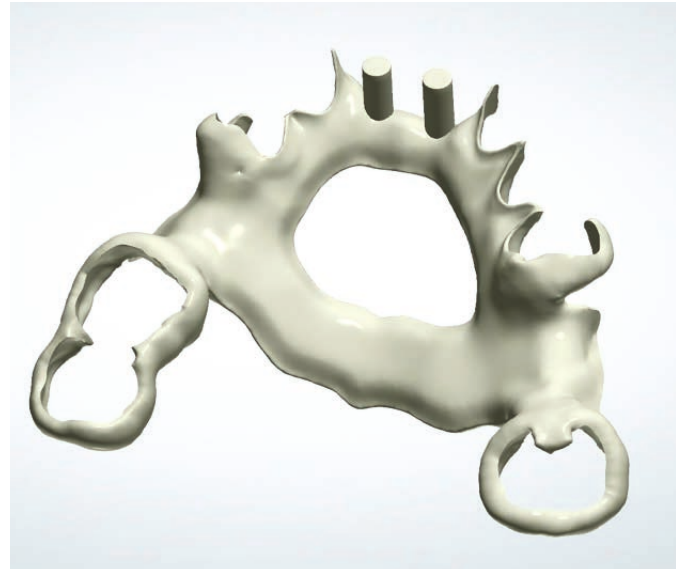
Weshalb brechen Klammern?

Der Patient greift sehr oft, um seine Klammerprothese zu lösen, an den Klammerunterarm und hebt dort die Prothese heraus. Beim Einsetzen erfährt die Klammer eine starke Zugkraft durch das Einsetzen mittels Aufbiss. Obwohl PEEK eine Bruchdehnung ähnlich einer hochgoldhaltigen Legierung besitzt, wurde diese bei sehr viel geringeren einwirkenden Kräften gemessen. Erschwerend kommt hinzu, dass PEEK ein teilkristalliner Werkstoff ist. Explizit bestimmte gefüllte bzw. dotierte PEEK-Varianten zeigen beim Bruch ein leicht gläsernes Verhalten, wohingegen reines PEEK sich tendenziell biegeelastisch verhält. Brücken aus PEEK, die man in der Zwickmaschine künstlich bricht, halten sehr hohe Bruchkräfte aus (nach eigenen Messungen: 2600 N/viergliedrige vollanatomische Brücken), brechen jedoch nach einer schwachen, messbaren Durchbiegung mit einem lauten, initialen Knall.



► 10 Unterschiedlich aufgebaute Hochleistungspolymere zeigen ein unterschiedliches Bruchverhalten. Die hier abgebildete Bruchstelle eines reinen PEEK nach zirka zehn Biegewechselsn zeigt das typische Bruchbild eines plasto-elastischen Materials – die weiße Bruch-Naht. Bei anderen Polymeren sieht und hört man ein glasartiges Brechen.

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)



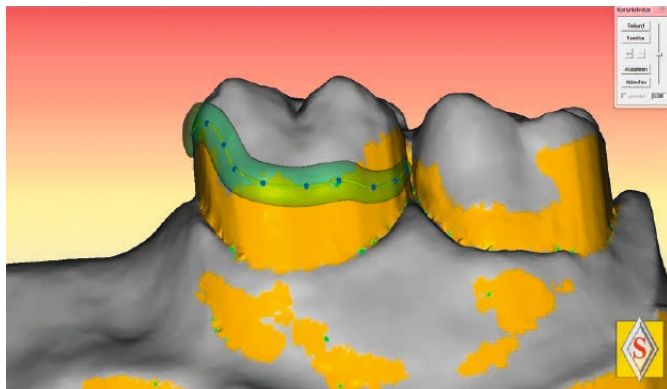
► 12 Ist dies eine probate Lösung beim Arbeiten mit Polymeren – vermehrte Konstruktionen von „Band-Klammern“?

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)

PEEK ist nicht gleich PEEK

Wenn von PEEK die Rede ist, muss man betrachten, um welche Art von PEEK/PAEK es sich handelt. Gefüllte PEEK Materialien, also solche, die mit keramischen Partikeln und/oder farbgebenden Partikeln wie beispielsweise weißes Titanoxid (E171 in der Lebensmittelchemie) und/oder Eisenoxid gefüllt bzw. dotiert sind, zeigen in der praktischen prophetischen Anwendung eine höhere Steifigkeit, aber auch höhere Sprödigkeit als nicht dotiertes PEEK. Dies gilt es bei Konstruktionen zu beachten.

Zudem gibt es mittlerweile PEEK in Gingiva-Färbung bzw. „zahnfarben“. Diese gefärbten PEEK-Materialien können sich ebenfalls bei den mechanischen Werten von anderen PEEK-Varianten unterscheiden.



► 11 Müssen wir uns bei der Verwendung von Hochleistungspolymeren an die klassische ein Drittel Regel, ein Drittel oberhalb, ein Drittel auf und ein Drittel unterhalb des Zahn-Äquators, halten?

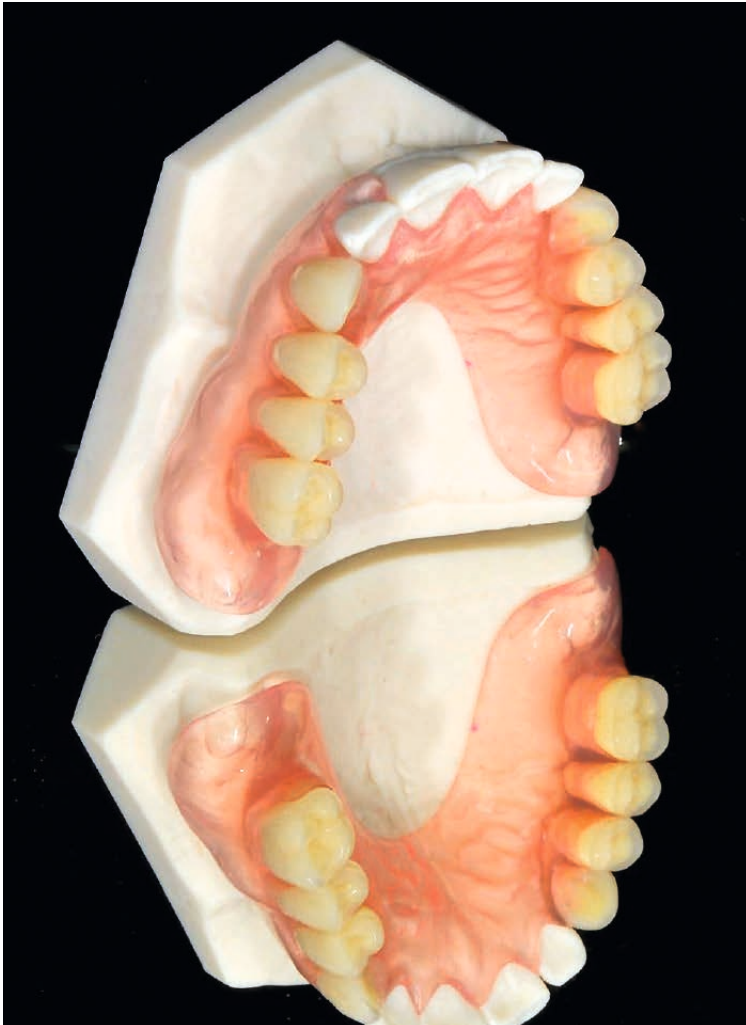
(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)

Zu beachten ist auch die Tatsache, dass Pigmente/Partikel im PEEK mit dem PEEK-Grundwerkstoff nicht verschmelzen, sondern lediglich in die Matrix eingebunden sind. Dies wiederum hat unter Umständen Einfluss auf die Feuchtigkeitsaufnahme solcher PEEK-„Komposite“, den Alterungsprozess und unter Umständen die Plaqueanlagerung.

Eine weitere Spezifikation beim PEEK stellen Konstruktionen aus PEEK-Granulaten dar, die durch einen Schmelz-Pressvorgang in die definitive Form gebracht werden. Hierbei findet ein zusätzlicher thermischer Prozess im Bereich der Schmelztemperatur des Grundwerkstoffes statt, der einen Einfluss auf das Gefüge haben kann und etwas unterschiedliche, wenngleich klinisch nicht relevante mechanische Werte generiert. Eine ganz neue, innovative Variante der Herstellung von PEEK-Konstruktionen stellt das additive Drucken von PEEK dar, welches in dieser Publikation jedoch (noch) nicht behandelt werden soll.

PEEK-Konstruktion versus Metall-Konstruktion

Ist es also sinnvoll, PEEK-Klammerprothesen so zu designen, als hätten wir es mit einer metallenen Klammerprothese zu tun, einzig und allein mit dem Unterschied, dass wir die schwächeren mechanischen Werte durch konstruktive Merkmale aufblasen? Indem wir einfach die Querschnitte der Klammern deutlich erhöhen, nicht aber die Form verändern? Indem wir die klassisch gelernte Regel, ein Drittel unterhalb des Äquators, ein Drittel auf dem Äquator, ein Drittel oberhalb des Äquators übernehmen, obwohl wir es mit einem Material zu tun haben, welches ein dezentes plasto-elastisches Verhalten zeigt und, je nach Komposition, eventuell größere Verbiegungen beim Aufsetzen



► 13b Funktioniert das auch bei gefrästem PEEK?

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)

► 13a Bei solchen gespritzten, sehr flexiblen Nylon-Prothesen (Material: Thermosens/ Vertex) mit Gingivaklammern scheint es zu funktionieren – das Verlassen der „heiligen“ 4mm Parodontienfreiheit

(Bildquelle: Csaba Szegő/ Zürich)

und Ausgliedern toleriert und den Zahn dabei weniger belasten könnte?

Ist es also sinnvoll, aufgrund des veränderten Materials, die Klammern eher als Bänder zu designen, also mehr in die

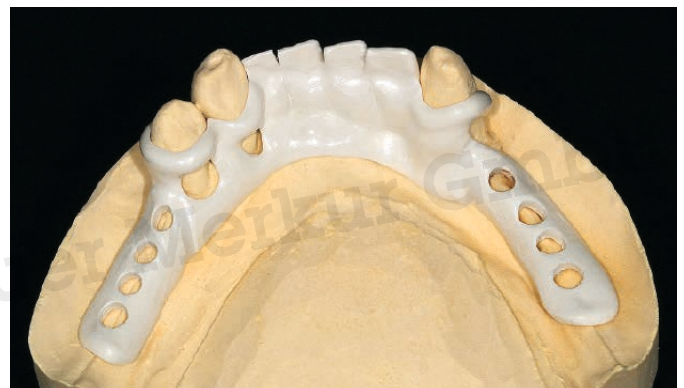
Breite zu gehen und dadurch vom Querschnitt her dünner gestalten zu können?

Sollten wir, wo immer es geht, mit geschlossenen Klammern bänderartig konstruieren? Auch, um eine zusätzliche Lage-



► 14a Die Konstruktion von Bild 7c nach dem Fräsen

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)



► 14b PEEK lässt sich, mit gängigen Mittel, wie zum Beispiel feinem Schmirgel und Bimsmehl einfach und zügig vorpolieren. Mit unterschiedlichen Pasten erzielt man eine sehr gut verdichtete, hochglänzende Oberfläche.

(Bildquelle: dentalgerade/ M. Wepler)

sicherung der Prothese, nach Art einer Schienung, in horizontaler Richtung zu erreichen und den Patienten beim Ausgliedern der Prothese vom Aufbiegen der Klammer abzuhalten?

Wie müssen die Auflagen aussehen – bei einem Material, welches bei weitem nicht die Steifigkeit einer Modellguss-Legierung besitzt? Gerade okklusal fehlt uns der Platz, den wir mit filigranen Metallkonstruktionen statisch noch nützen können. Sollten wir in diesen Arealen Höcker und Leisten anteilig überkappen, sofern dies der Antagonist überhaupt räumlich zulässt?

Von Arbeiten aus Acetal wissen wir, dass die teilweise konstruierten okklusalen „Alibi“-Abstützungen ein Einsinken der Prothesensättel nicht verhindern konnten.

Darf ein Modellguss physiologisch beweglich sein?

Wie viel Steifigkeit wollen, müssen bzw. dürfen wir unseren beweglichen Kiefern zumuten? Müssen wir umdenken? Was spricht dagegen, dass sich unsere Klammerprothese im Rahmen und mit den Werten der physiologischen Gegebenheiten, also der Beweglichkeit, die die Klammerzähne und die Schädelstrukturen besitzen, mitbewegen darf? Bewegung ist Leben, so lautet ein wichtiger Grundsatz der Osteopathie.

Offensichtlich scheint dies bei Valplast-Prothesen, die mit Gingiva-Klammern und ohne Parodontiefreiheit konstruiert werden, zu funktionieren. Ob so etwas bei einer PEEK-Klammerprothese nachhaltig funktioniert, kann einzig und allein der Patient bestimmen.

Unterschiede in der Nachhaltigkeit – Reparaturfähigkeit

Klammermodellgüsse aus Metall lassen sich erweitern oder reparieren, da man das Material löten oder lasern kann. PEEK hingegen kann, lege artis betrachtet, im zahntechnischen Labor nicht geschweißt werden. Aber es lässt sich sehr gut verkleben. Wo mesial oder distal eines Schaltsattels eine Erweiterung um einen Zahn noch funktioniert, weil man hier strukturelle Elemente in den Sattel integrieren kann, wird es bei Klammerbrüchen oder weit vom Schaltsattel entfernten Arealen schwieriger. In diesen Fällen müssen für eine Verklebung entsprechende Areale prospektiv so gestaltet werden, dass man eine spätere Klebefläche besitzt.

Wasseraufnahme – Plaque-Besiedlung – Reinigung

Bei dem Polymer PEEK kommt es zu einer sehr geringen, jedoch messbaren Speichelaufnahme. Polymere weisen außerdem eine höhere Anfälligkeit gegenüber dem Aufrauen der Oberfläche auf als eine hochglanzpolierte Modellgusslegierung, die eine sehr hohe Oberflächenhärte besitzt. Wie hoch ist unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte die



► 15a und ► 15b Klammern aus Acetal sind, aufgrund der dezenten Transluzenz und der dadurch etwas „natürlicheren“ Farbgestaltung, am unauffälligsten. Dies lässt sich bei PEEK und anderen Hochleistungspolymeren nur mit einer exakten farblichen Anpassung erreichen. Hier sind die Hersteller gefragt. Nicht wirklich ein „Modellguss“: Bei dieser Spinne, die zwei Monate als Immediat-Prothese in situ war, wurde bewusst auf Auflagen verzichtet, um ein Ausformen eines ersten Emergenz-Profils durch vertikalen Druck bereits bei dem bei 14 gedeckt einheilenden Implantat zu erzielen. Die Aufnahme wurde nach fünf Tagen erstellt. Im Endergebnis funktionierte dies sehr gut. Hochleistungspolymere besitzen eine hervorragende Affinität zum Weichgewebe.

(Bildquellen: dentalgerade/ M. Wepler)



► 16 und ► 17 OK/UK Fall einer Patientin, „aus der Schale gegriffen“, wie sie inzwischen regelmäßig, Tendenz steigend, von Behandlern wie Patienten gewünscht werden

(Bildquelle: dentalgerade, Arbeit: Knebelsberger Dentaltechnik/ Karlsruhe)



► 18 Gut zu wissen – PU und PEEK zeigen ähnliche Ergebnisse. Der Behandler wünschte eine schnelle Gerüsteinprobe. Da der benötigte Blank nicht vorrätig war, wurde der OK-Modellguss aus einem preisgünstigen PU-Modellblank gefräst. Abgesehen von einer etwas leichtgängigeren Retention war die Passung nahezu identisch.

(Bildquelle: dentalgerade, Arbeit: Knebelsberger Dentaltechnik/ Karlsruhe)

Wahrscheinlichkeit einer Plaque-Akkumulation? Plaque-Besiedelung an partiellen Klammerprothesen findet in der Regel am Kunststoff der Prothesensättel und an den Prothesenzähnen statt. Bei Klammermodellgüssen aus Metall findet man Plaque allerdings auch am Sublingualbügel im UK, im Bereich der glandula sublingualis. In vitro Untersuchungen [8, 9] haben gezeigt, dass, mit Ausnahme von Air Flow Reinigung, die Reinigung von PEEK mit den gängigen Methoden durchgeführt werden kann, ohne kritische Rautiefen zu erzeugen, die eine Plaquebesiedlung beschleunigen würden.

Eine Untersuchung des undotierten PEEK OPTIMA der Firma Juvora zeigte bei Abutments, die zum Vergleich aus Zirkonoxid, Titan, PMMA und PEEK hergestellt wurden, dass beim PEEK-Abutment die geringste Anlagerung von Biofilm messbar war. Die höchste Biofilm-Rate bei dieser Studie zeigte Titan. Da jedoch mittlerweile sehr viele unterschiedliche, dotierte bzw. mit Partikeln angereicherte PEEK-Materialien für den dentalen Einsatz existieren, können die in den angeführten Untersuchungen ermittelten Werte nicht automatisch auf alle angebotenen Werkstoffe übertragen werden. Zudem deren tatsächliche Herkunft oftmals nicht bekannt

ist und diese in identischer Form, als OEM-Produkte, vertrieben werden.

Wie lange halten Klammermodellgüsse?

Eine Studie von Behr et al [5] beschreibt Fünf-Jahres-Gesamt-Überlebensraten bei gegossenen Klammermodellgüssen von 96,4 Prozent und Zehn-Jahres-Überlebensraten von 89,6 Prozent. In der Fünf-Jahres-Studie zeigten sich 80,4 Prozent der Modellgüsse ohne Klammerbrüche, nach 10 Jahren waren es 76,9 Prozent. 3,4 Prozent Brüche gab es bei den kleinen Verbindern und 5,1 Prozent bei den großen Verbindern. Die Reparaturen, die Patienten am häufigsten zum Zahnarzt und Labor führten, waren also Klammerbrüche. Aber dies deckt sich wohl auch mit den gefühlten, nicht evidenzbasierten Erfahrungen des Praktikers im Alltag. Häufig zu beobachten, mit 35,6 Prozent, waren Entzündungen an der Gingiva der Pfeilerzähne und Verluste der Pfeilerzähne. Interessant sind auch die ermittelten Werte zu den Kariesläsionen im untersuchten Zeitraum. Nach fünf Jahren waren lediglich 58,4 Prozent der Pfeilerzähne frei von Karies, nach zehn Jahren waren es gerade mal 39,6 Prozent. Die

Studie einer japanischen Gruppe um Tada et al. [6] berichtet über Sieben-Jahres-Überlebensraten von 83,7 Prozent, 75,5 Prozent bis hin zu 71,9 Prozent. Interessant ist hier, dass mit zunehmender Recall-Häufigkeit, die Gruppe mit 83,7 Prozent war alle drei Monate beim Recall, diejenige mit 75,5 Prozent einmal pro Jahr, eine deutlich höhere Überlebensrate einhergeht als dies bei der letzten Gruppe der Fall war, die quasi sich selbst überlassen blieb. Von einer Passivität eines Klammermodellgusses, wie in der Theorie postuliert, kann also nicht die Rede sein. Ein Klammermodellguss ist wohl doch, in vielen Fällen ein aktives, prothetisches Instrument.

In welcher Amplitude ist eine Neuanfertigung zumutbar?

Nahezu jede prothetische Arbeit ist ein alltäglicher Gebrauchsgegenstand, der mehr oder weniger mechanisch und biologisch bzw. chemisch belastet wird und damit einem Alterungsprozess unterliegt. Belastet und benutzt wird dieser Gebrauchsgegenstand innerhalb eines mechanisch hoch komplizierten Systems und ist zudem, dies kommt erschwerend hinzu, einem komplexen Biotop, der Mundhöhle, ausgesetzt. Demgegenüber steht die omnipräsente Message an die Patienten, dass dieser Gebrauchsgegenstand „ewig“ halten wird – so kommt es zumindest bei vielen Patienten an – und auf viele Jahre sich in seiner Situation nichts verändern würde. Diese Botschaft ist problematisch. Wir müssen den Patienten vermitteln, dass Zahnersatz, insbesondere der herausnehmbare, mit Gebrauchsgegenständen des täglichen Lebens zu vergleichen ist. Es ist für Patienten völlig selbstverständlich, dass bei einem PKW nach einer bestimmten Laufzeit Reifen, Bremsbeläge und Bremscheiben ersetzt werden müssen. Fallen jedoch beim Zahnersatz Wartungsarbeiten an oder ist gar nach vielen Jahren eine Neuanfertigung notwendig, sind sie überrascht. Fazit: Ein herausnehmbarer Zahnersatz, wie zum Beispiel ein Klammermodellguss, muss und darf die Legitimation besitzen, repariert oder gar erneuert zu werden und ist kein mechanisches Perpetuum mobile. Bei Bewohnern von Alters- und Pflegeheimen ist die Situation wohl ähnlich zu bewerten. Hier sind allerdings mitunter nicht finanzielle, sondern andere Gründe ausschlaggebend für eine Unterversorgung, die jedoch nicht das Thema dieser Publikation betreffen.

Ästhetik und Klammermodellguss – eine Diskussion um des Kaisers Bart

Nur die unsichtbare Klammer ist eine ästhetische Klammer. Ob aus silbrig hochglänzendem Metall oder aus den derzeit angebotenen PEEK-Varianten gefertigt – wir reden nicht über ein gut gemachtes Veneer – und die Patienten vermeiden schon freiwillig eine hohe Lachlinie. Diese Diskussion ist also akademisch. Zahnfarbene polymere Werkstoffe könnten hier Abhilfe schaffen. Aber auch diese werden in der

Regel nicht transluzent sein, wie es von Acetal bekannt ist. Auch die Verwendung von weißem PEEK oder PEEK in A2 ist keine zufriedenstellende Lösung. Die wenigsten Patienten, die einen Klammer-Modellguss erhalten, haben eine A2 oder A3, eher eine bräunlich-rötliche Alters-Zahnfarbe. Hier leuchtet das helle PEEK viel zu stark hervor. Wir sollten also versuchen, unsere Konstruktionen so zu gestalten, dass möglichst wenig Klammer sichtbar ist. Die Funktion muss selbstverständlich trotzdem vorhanden sein. Eventuell lässt sich mit neuen Werkstoffen dieser Weg gehen.

Die Herstellung

Auch mit Fräsmaschinen der mittleren oder unteren Preisklasse ist es längst kein Lotteriespiel mehr, auf Anrieb passende Klammer-Modellgüsse aus Hochleistungspolymeren zu fräsen. Praktikable CAM-Software ist heute verfügbar. Wichtig ist zum Beispiel, dass die Anstellwinkel der rotierenden Achsen ausreichend groß sind, um einen Zugang der Fräterspitze zu sämtlichen Hinterschnitten zu gewährleisten. Ebenso wichtig ist es, zum Beispiel beim Fräsen von PEEK nicht mit zu sehr abgenutzten Fräsern zu arbeiten, um ein Verdrängen dünner Strukturen nicht zusätzlich zu forcieren und das zähe Material restlos abzutragen. Einige befreundete Laborinhaber erhalten regelmäßig unterschiedliche PEEK-Arbeiten im Auftrag diverser Zahnarztpraxen – Tendenz steigend.

Fazit, Gedanken und Fragen

Ich habe hoffentlich, so gut es die Datenlage und die persönlichen, jahrelangen Erfahrungen erlauben, ein Gefühl für das Thema Klammer-Prothesen aus Hochleistungskunststoffen geben können. Stellvertretend für die Polymere, welche aktuell für Hochleistungskunststoffe stehen, habe ich die größer und umfangreicher werdende Gruppe der PAEK-/PEEK-Materialien betrachtet und andere, wie POM, PC, PA oder faserverstärkte Werkstoffe, wie zum Beispiel Trinia (Bicon), vorerst außer Acht gelassen.

Wir haben festgestellt, dass die Erfahrungen mit PEEK in diesem Indikationsbereich in den Praxen und Labors noch sehr gering sind. Von einer evidenzbasierten Prothetik in diesem Materialbereich kann schon gar nicht die Rede sein. Bisher waren metallfreie Klammer-Prothesen denen vorbehalten, die aus diversen Gründen kein Metall in der Mundhöhle wollten.

Interessant ist festzustellen, dass Patienten, welche die Wahl zwischen einem Modellguss aus Metall und einer Klammer-Prothese aus Polymer haben, primär diejenige aus Kunststoff wählen – weil diese bequemer ist. Hier macht sich auch die geringe Wärmeleitfähigkeit bemerkbar.

Wir wissen, dass wir es mit hochinteressanten, sehr biokompatiblen Materialien zu tun haben, welche sich offensichtlich aufmachen, das Terrain von Indikationen zu besetzen, die bisher den Metallen und Keramiken vorbehalten waren. Wir

besitzen mit PEEK ein Material, welches mechanisch weit entfernt von den bei Klammerprothesen verwendeten Legierungen ist.

Nominell, bezüglich der Biegefestigkeit und des E-Moduls liegen wir im Bereich noch unterhalb des menschlichen Dentins, bestenfalls knochenähnlich. PEEK-Materialien zeigen ein plasto-elastisches Verhalten und eine gegenüber Modellgusslegierungen deutlich erhöhte Bruchdehnung – dies jedoch bei wesentlich geringer einwirkenden Kräften. Das Material bricht jedoch, je nach PEEK-Variante, mehr oder weniger glasartig, nur in seiner Reinform tendenziell zähelastisch. Praktiker wissen jedoch, dass selbst Klammern aus den extrem mechanisch stabilen Modellgusslegierungen brechen können. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Wir sollten auch nicht glauben, dass all unsere Klammern, die wir aus Metall fertigen, im Mund die geforderten fünf bis zehn N Haltekraft realisieren. Außerdem sollte uns bewusst sein, was ein Klammer-Modellguss für den Patienten darstellt, und wie dieses sehr starre und steife Konstrukt wirkt. Denn längst nicht alle gefertigten Modellgüsse sind passiv.

Wir fertigen diese nach theoretischen Grundlagen, von denen wir nicht wissen, ob wir sie in der vor uns liegenden Arbeit tatsächlich realisieren (können) und die gefertigte Arbeit sich im Mund als verträglich und funktionell erweist. Die Bemerkung diverser Laborbesitzer zum PEEK-„Modellguss“: „Da kann ich ja keine Klammer aktivieren“ spricht für sich.

Wir fertigen in ein bewegliches System, den Schädel, hinein. Was fangen wir mit diesem Wissen an? Nun haben wir mit Polymeren eine Materialgruppe zur Verfügung, welche gegensätzlicher zur Modellgusslegierung nicht sein könnte.

Ist es überhaupt sinnvoll, eine Modellgusskonstruktion aus Metall zu kopieren, diese im Maßstab so weit aufzublasen, dass die geringeren mechanischen Werte kompensiert sein müssten und zu glauben, man hätte so den Modellguss aus Metall eins zu eins ersetzt? Einen Modellguss, der auch nicht immer erfolgreich war und ist. Oder sollten wir stattdessen bei unseren Konstruktionen umdenken, dem Patienten die Möglichkeit nehmen, beim Ausgliedern der Prothese mit dem Fingernagel am letzten Drittel der Halteklammern zu zerrn, E-Klammern, G-Klammern, klassische Bonwill-Klammern oder Back-Action-Klammern aus dem konstruktiven Repertoire entfernen und diese durch flächige Bebänderungen ersetzen? Sollten wir nicht die okklusalen Auflagen überdenken, für die bereits in Metall nicht immer ausreichend Platz vorhanden ist und die jetzt in einem schwächeren, beweglicheren Material konstruiert werden sollen?

Müssen wir die immer noch kursierenden klassischen Unterschnitt-Regeln, die für hochgoldhaltige Legierungen aufgestellt wurden, verlassen und in einem Mischbereich aus Friktion und Unterschnitt konstruieren? Müssen wir das Absinken einer solchen Prothese durch körperliche Umfassungen, so es der Antagonist zulässt, verhindern?

Müssen wir nicht die Kinetik einer solchen Prothese hinterfragen? Darf sie sich nicht doch ein wenig physiologisch, zusammen mit dem beweglichen Kiefer (nicht nur der Unterkiefer verformt sich) und den beweglichen Pfeilerzähnen, mitbewegen?

Und wie finden wir die Antworten auf diese Fragen? Ganz einfach – indem wir diese Prothesen fertigen und den Patient um Feedback bitten. Eventuell sogar, indem wir uns selbst solche Klammer-Prothesen aus Metall und PEEK herstellen. Neben den theoretischen Berechnungen spielt eben auch das Trial-and-Error-Prinzip eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Es werden weitere Hochleistungspolymere auf den Markt drängen, die ähnliche, identische oder sogar bessere Eigenschaften wie PEEK besitzen. Aber am Ende entscheidet sowieso nur einer, welche aus Hochleistungspolymeren gefertigten Arbeiten im Mund funktionieren – der Patient. 🦷

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Pospiech P., Die prophylaktisch orientierte Versorgung mit Teilprothesen, Georg Thieme Verlag 2002
- [2] Kundert M., Brunner T., Gerüstprothetik: Planungsrichtlinien und Konstruktionsvorschläge, Verlag Karger
- [3] Geering A. H., Kundert M., Farbatlant der Zahnmedizin, Bd.2, Totalprothetik und Hybridprothetik, Thieme Verlag 1992
- [4] Tannous F., Steiner M., Shahin R., Kern M., Retentive forces and fatigue resistance of thermoplastic resin clasps, Dent Mat 2012; 28: 273-278
- [5] Behr M., Zemam F., Passauer T. et al., Clinical Performance of cast clasp-retained removable partial dentures: a retrospective study, Int J Prosthodont 2012; 25: 138-144
- [6] Tada S., Allen P. F., Ikebe K., Matsuda K., Maeda Y., Impact of periodontal maintenance on tooth survival in patients with removable partial dentures, J Clin Periodontol, 2015 Jan; 42(1): 46-53
- [7] Bauer S., Eichberger M., Stawarczyk B., Retentionskräfte von Teilprothesenklammern aus PEEK-basierten Kunststoffen, Quintessenz Zahntechnik 2014; 40(6): 6686-700
- [8] Sturz C. R., Faber F. J., Scheer M., Rothamel D., Neugebauer J., Effects of various chair-side surface treatment methods on dental restorative materials with respect to contact angles and surface roughness, Dent Mater J. 2015; 34(6): 796-813, Online unter: <http://doi.org/10.4012/dmj.2014-098>
- [9] Heimer S., Schmidlin P.R., Stawarczyk B., Effect of different cleaning methods of polyetheretherketone on surface roughness and surface free energy properties, J Appl Biomater Funct Mater 2016 Jul 26;14(3): 248-55
- [10] Hahnel S., Wieser A., Lang R., Rosentritt M., Biofilm formation on the surface of modern implant abutment materials, Clin Oral Implants Res 2015 Nov; 26 (11): 1297-1301, Epub 2014 Jul 24