

Festigkeit von Klebverbindungen zwischen gegossenen Edelmetallgerüsten und vorgefertigten Goldhülsen

Durch Verkleben von Goldzylindern mit großen gegossenen Gerüsten mittels geeigneter Kleber kann ein spannungsfreier Sitz der Suprakonstruktion auf dem Implantat erzielt werden. In dieser Untersuchung wurden hierzu zylindrische Pfosten mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Bis-GMA-Klebern (Degussa Experimental und Nimetic Cem) in vorgefertigte Hülsen geklebt und unter Betrachtung der Klebfugenbreite, im Druckscherversuch getestet. Mit zunehmender Fugenbreite nahm die Klebfestigkeit ab. In der Gruppe der maximalen Filmdicke kam es zu einem signifikanten Abfall der Klebfestigkeit, die jedoch in einer Größenordnung lag, die unter kaufunktioneller Belastung noch genügend Halt zwischen Goldzylinder und Gerüst garantierte.

Schlüsselwörter: SupraStruktur, Gerüste, Bisphenol-glycidylmethacrylat

Strength of adhesive bonds between cast precious metal framework and prefabricated gold cylinders. In some implant Systems superstructures and implants are connected by gold alloy caps. Generally, a one-piece framework is cast directly to the caps, whereas a framework consisting of several parts has to be soldered afterwards. In both cases it is difficult to obtain a perfect fit of the superstructure on the implant

1 Einleitung

Die Verbindung von Werkstücken mit Hilfe von Klebern ist in vielen Bereichen der Technik von großer Bedeutung. Es gibt heutzutage praktisch keinen Industriezweig mehr, in dem das Kleben nicht in irgendeiner Form angewendet wird [2, 5]. Der industrielle Einsatz von Klebstoffen beeinflusste vor 40-50 Jahren als erstes den Flugzeugbau. Durch das Verkleben von Leichtmetalllegierungen kam es zur Gewichtsreduktion und somit zur Treibstoffersparnis. In jüngster Zeit folgten dann Automobil- und allgemeiner Fahrzeugbau, Maschinenbau und der Klebereinsatz im Bereich der Elektronik, Papierverarbeitung und Medizin [2, 5]. Das Kleben in der Medizin erfolgte primär in den Anwendungsbereichen der Gewebeklebung (Cyanoacrylat-Fibrinogen-Klebstoffe) und in der Versorgung von Implantat- und Endoprothesen durch Knochenzemente [4]. Der Einsatz von Klebstoffen in der Zahnmedizin gewann durch die Entwicklung hydrolysestabiler Oberflächenkonditionierungsverfahren und durch die Weiterentwicklung der

without inducing stress concentrations. The generation of stresses can be avoided by bonding the caps to the superstructures with suitable adhesives. In this study, the influence of the adhesive joint width on adhesive bond strength was evaluated. For this purpose, cylindrical posts were bonded with adhesive (one group with Degussa Experimental, the other group with Nimetic Cem) to tubular caps. The adhesive films had widths of 20 μm , 50 μm , 105 μm , 155 μm and 210 μm , respectively. An axisymmetric shear test was performed to evaluate the adhesive bond strength after 24 h of storage of the specimens at room temperature. The influence of additional thermal and mechanical cycling on adhesive strength was studied in the 210 μm specimens only. The specimens with the smallest film thickness showed adhesive bond strengths of approximately 35 to 45 MPa. The adhesive bond strength decreased by about 20-40 % for the medium film thickness. At the maximum film thickness of 210 μm , there was a significant decrease in adhesive strength, but still a reliable bond resulted between gold caps and framework during clinical function. By creating suitable adhesive joints we were able to treat patients successfully with bonded superstructures.

Keywords: adhesives, denture, implant-supported, framework, bisphenol-a-glycidylmethacrylate

Bis-GMA-Kunststoffe im Bereich der Adhäsivprothetik an Bedeutung. In den letzten Jahren erweiterte sich das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten auf die Metallklebung im Bereich der Präzisionsgeschiebe- und Implantatgerüstkombi- kation [14]. Als Vorteil der Klebung ist die fehlende thermische oder mechanische Beanspruchung, das Ausgleichen von Paßungenauigkeiten und die Vermeidung von Spannungsspitzen der zu fügenden Teile anzusehen [5]. Zur Anfertigung von verschraubten implantatgetragenen Su-prakonstruktionen stehen für das Metallgerüst bei den verschiedenen Systemen sogenannte Goldzylinder oder Kronenbasen zur Verfügung, die aus einer hochschmelzenden angußfähigen Legierung bestehen. Über die Goldzylinder kommt es zur Verbindung zwischen der Suprakonstruktion und den Distanzhülsen und somit zu den enossalen Implantaten. Diese Verbindung muß an jedem einzelnen Pfeiler spannungsfrei sein [16]. Paßungenauigkeiten des Gußobjektes können beim üblichen Angußverfahren allein durch Dimensionsänderungen während des Einbettens und Gießens auftreten. Weiterhin kann es durch fehlerhaftes Angießen zu Gerüstfrakturen kommen [5, 12]. Zudem ist es mit der Angußtechnik nicht möglich, Reintitan für die Gerüstherstellung zu verwenden, da es infolge des hohen Titanschmelzpunktes zur Ausbildung einer Oxidationsschicht kommt, die

¹ Abteilung für Zahnärztliche Prothetik (Direktor: Prof. Dr. A. Roßbach) der Medizinischen Hochschule Hannover

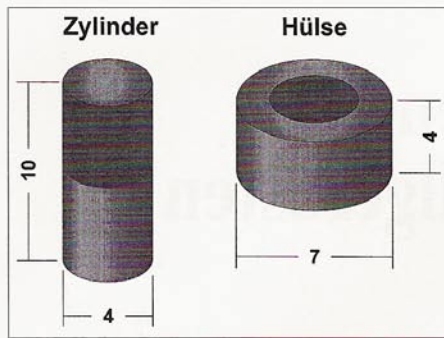


Abb. 1 Prüfkörperteile vor dem Verkleben (Maßangaben in mm)

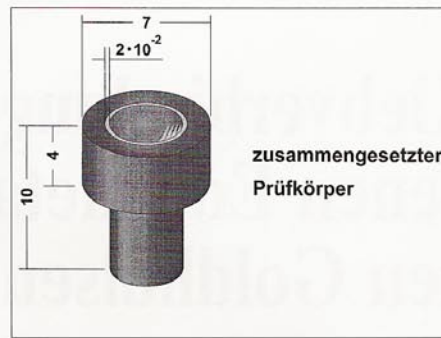


Abb. 2 Prüfkörper nach dem Verkleben von Zylinder und Hülse (Maßangaben in mm)

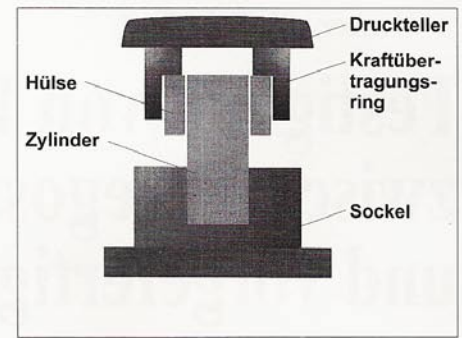


Abb. 3 Versuchsaufbau des Druckscherversuchs nach DIN 54452

ein regelrechtes Verschmelzen der Legierungen verhindert [1, 7, 14, 15]. Um spannungsfrei sitzende Suprakonstruktionen zu erhalten, die sogar aus Reintitan sein können, wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem die Goldzylinder in die gegossenen Gerüste eingeklebt werden [14].

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Haltbarkeit der Verbindung zwischen gegossenen Gerüsten und vorgefertigten eingeklebten Goldzylindern unter praxisnaher Belastung zu prüfen und die Eignung zweier Kleber für diesen Verwendungszweck zu testen.

2 Material und Methode

Zwei Bis-GMA-Kleber wurden in die Untersuchung einbezogen. Es handelte sich um Degussa Experimental (Degussa, Hanau) und um Nimetic Cem (Espe, Seefeld). Als Legierung für die Prüfkörper wählten wir die hochgoldhaltige Legierung Degunorm (Degussa). Dies ist eine extraharte Legierung mit der Zusammensetzung in Massenanteilen von Au 73,8 %, Ag 9,2 %, Pt 9,0 %, Cu 4,4 % und Zn 2,0 %.

Die Prüfkörper wurden in stilisierter Form als Zylinder und Hülse hergestellt, die Maße in Anlehnung an klinische Größenverhältnisse festgelegt. Die Durchmesser der Zylinder und Hülsen waren so ausgelegt, daß sich Klebfugen von 20 µm, 50 µm, 105 µm, 155 µm und 210 µm ergaben (Abb. 1).

Nach der Entfettung wurden Zylinder und Hülsen im Bereich der Klebflächen für die Dauer von 30 s mit Korund der Körnung 250 µm abgestrahlt und in der folgenden Stunde nach Herstellerangaben verklebt (Wärmebehandlung mit Rotlichtlampe 150 W bei Degussa Experimental) (Abb. 2). Die Gesamtklebfläche betrug 50,3 mm². Die einzelnen Testgruppen umfaßten jeweils sieben geklebte Prüfkörper. Nach der Klebung lagerten alle Prüfkörper für 24 h im Normalklima (23/50-2 DIN 50014). Für beide Kleber wurden jeweils sieben weitere Prüfkörper mit der größten Fugenbreite (210 µm) hergestellt. Diese wurden zusätzlich 10⁴ Zyklen thermischer Wechselbelastung, (5°C/55°C) und 10⁵ Zyklen einer Schwellbiegebelastung (Mb = 30 Ncm) unterzogen, sowie einer 12tägigen Wasserlagerung bei 37 °C ausgesetzt. Nach der Vorbehandlung wurde an allen Prüfkörpern im Druckscherversuch die Klebfestigkeit in Anlehnung an DIN 54452 ermittelt (Abb. 3). Der Versuch wurde an einer Universalprüfmaschine mit Druckplatte und Druckteller (Typ 20 K, Fa. UTS, Ulm) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Alle Last-Weg-Diagramme, die während der Druckscherversuche aufgenommen wurden, zeigten grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf. Die Kurve stieg kontinuierlich an, erreichte

te dann bei einer Wegstrecke von ca. 0,3 mm den Punkt der höchsten Belastung und fiel steil ab. Als repräsentatives Beispiel ist hier der Kurvenverlauf für einen Prüfkörper mit einer Fugenbreite von 20 µm dargestellt (Abb. 4).

Die Klebfestigkeitswerte (Tab. 1) bei einer Fugenbreite von 20 µm lagen zwischen 39 MPa und 47 MPa für Degussa Experimental und zwischen 33 MPa und 46 MPa für Nimetic Cem. Der Mittelwert für Degussa Experimental lag bei 44 MPa (3 MPa Standardabweichung) und für Nimetic Cem bei 40 MPa (5 MPa Standardabweichung). - Die Ergebnisse der Versuchsreihe mit 50 µm Klebfugenbreite beinhalten Werte zwischen 26 MPa und 37 MPa für Degussa Experimental und zwischen 34 MPa und 44 MPa für Nimetic Cem. Der Mittelwert für Degussa Experimental lag bei 33 MPa (4 MPa Standardabweichung), für Nimetic Cem bei 40 MPa (4 MPa Standardabweichung). - Bei einer Fugenbreite von 105 µm lagen die Ergebnisse zwischen 17 MPa und 32 MPa für Degussa Experimental und zwischen 20 MPa und 37 MPa für Nimetic Cem. Der Mittelwert für Degussa Experimental lag bei 25 MPa (± 5 MPa), für Nimetic Cem bei 30 MPa (± 5 MPa). - Fugenbreiten von 155 µm lieferten Werte zwischen 10 MPa und 19 MPa für Degussa Experimental und Werte zwischen 15 MPa und 34 MPa für Nimetic Cem. Der Mittelwert für Degussa Experimental lag bei 16 MPa (±3 MPa), für Nimetic Cem bei 26 MPa (± 4 MPa). - Die Versuchsreihen bei 210 µm Fugenbreite kamen auf Werte zwischen 9 MPa und 18 MPa für Degussa Experimental. Bei Nimetic Cem wurden Werte von 19 MPa bis 34 MPa gemessen. Der Mittelwert für Degussa Experimental 210 µm betrug 13 MPa (±3 MPa). Für Nimetic Cem ergaben sich Mittelwerte von 27 MPa (± 5 MPa) bei 210 µm Fugenbreite.

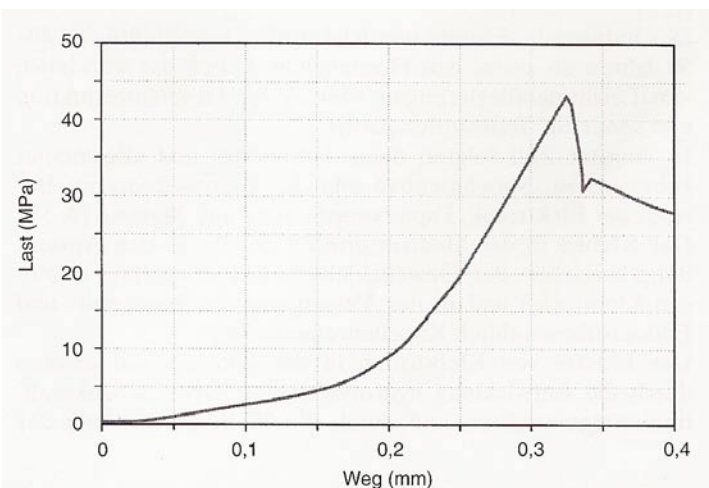


Abb. 4 Repräsentatives Last-Weg-Diagramm für den Druckscherversuch. Prüfkörper nach 1000 thermischen Lastwechsell

Tabelle 1 Ergebnisse der Druckscherversuche für die unterschiedlichen Fugenbreiten

Behandlung	Material	S _{max} [MPa]	S _{max} MW [MPa]	Behandlung	Material	S _{max} [MPa]	S _{max} MW [MPa]
Fuge 20 µm	D	39,728	44,4 ± 2,5	Fuge 155 µm	D	10,398	15,6 ± 3,2
	D	44,969			D	14,795	
	D	44,223			D	14,385	
	D	46,234			D	13,677	
	D	42,661			D	18,172	
	D	45,375			D	19,247	
	D	47,441			D	18,493	
Fuge 20 µm	N	43,941	40,4 ± 5,0	Fuge 155 µm	N	18,111	26,3 ± 4,2
	N	37,792			N	27,776	
	N	43,046			N	15,628	
	N	33,280			N	21,428	
	N	43,464			N	34,158	
	N	35,039			N	28,526	
	N	46,408			N	23,635	
Fuge 50 µm	D	36,482	32,5 ± 4,2	Fuge 210 µm	D	11,224	12,5 ± 2,9
	D	37,539			D	10,381	
	D	32,673			D	18,016	
	D	33,540			D	11,986	
	D	26,595			D	9,308	
	D	33,117			D	13,843	
	D	27,243			D	12,732	
Fuge 50 µm	N	40,427	39,8 ± 3,7	Fuge 210 µm	N	34,461	26,6 ± 5,0
	N	44,126			N	8,739	
	N	39,602			N	19,655	
	N	41,177			N	28,214	
	N	34,828			N	29,292	
	N	35,083			N	23,427	
	N	43,315			N	22,329	
Fuge 105 µm	D	24,407	24,9 ± 5,1	Fuge 210 µm komb. WB	D	6,452	11,7 ± 4,4
	D	29,906			D	8,232	
	D	28,457			D	12,478	
	D	23,711			D	13,078	
	D	17,656			D	16,055	
	D	32,898			D	7,843	
	D	20,547			D	17,920	
Fuge 105 µm	N	37,114	29,1 ± 5,3	Fuge 210 µm komb. WB	N	29,557	29,0 ± 2,8
	N	32,411			N	27,368	
	N	31,393			N	30,108	
	N	26,987			N	33,694	
	N	24,844			N	29,355	
	N	20,868			N	24,339	
	N	29,915			N	28,463	

D = Degussa Experimental N = Nimetic Cem

Für die ausschließlich bei Raumtemperatur gelagerten Prüfkörper mit unterschiedlicher Klebfugenbreite ergaben sich somit Gruppenmediane der Klebfestigkeiten zwischen 43 MPa und 24 MPa bei Nimetic Cem und zwischen 45 MPa und 12 MPa bei Degussa Experimental. Es zeigte sich bei beiden Klebern mit zunehmender Klebfugenbreite ein deutlicher Abfall der Klebfestigkeit (Abb. 5).

Bei Nimetic Cem ergaben sich für jede Klebfugenbreite mit Ausnahme von 20 µm höhere Klebfestigkeiten als bei Degussa Experimental. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte, daß sowohl die Klebfugenbreite als auch der Klebstoff die Festigkeit der Klebung signifikant beeinflussten.

Weiterhin ergab sich, daß beide Kleber signifikant unterschiedlich reagierten, was die Abnahme der Klebfestigkeit mit zunehmender Fugenbreite anging. So war bei Degussa Experimental ein stetiger Abfall der Festigkeitswerte proportional zur Vergrößerung der Klebfugenbreite zu sehen, wohingegen bei Nimetic Cem der Festigkeitsverlust bei einer Fugenbreite von 105 µm annähernd stagnierte.

Bei den Prüfkörpern mit 210 µm Fugenbreite, die zusätzlich noch einer mechanischen und thermischen Wechselbelastung unterzogen worden waren, zeigten sich für beide Kleber keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe. Die Versuchsreihen bei 210 µm Fugenbreite mit kombinierter Wechselbelastung führten zu Werten zwischen 6 MPa und 17 MPa für Degussa Experimental. Bei Nimetic Cem wurden Werte von 24 MPa bis 33 MPa gemessen. Der Mittelwert für Degussa Experimental 210 µm bei zusätzlicher Wechselbelastung lag bei 12 MPa (± 4 MPa). Für Nimetic Cem ergaben sich Mittelwerte von 29 MPa (± 3 MPa).

Vergleicht man die Kleber untereinander, so zeigt sich auch hier unter beiden Bedingungen eine signifikant höhere Klebkraft für Nimetic Cem gegenüber Degussa Experimental (Abb. 6).

4 Diskussion

Der wesentliche Vorteil bei der Klebung von Goldzylindern und gegossenen Gerüsten besteht darin, daß sich ein spannungsfreier Verbund zwischen Suprakonstruktion und Distanzhülse ergibt [5, 14]. Allerdings ist die Klebung nicht auf lange Sicht konstant, sondern nimmt ab und wird durch physikalische und chemische Einflüsse geschwächt. Somit ist eine Langzeitprognose über den Kleberfolg schwierig [5]. Wegen der feuchten Wärme versagen häufig Klebungen im zahnärztlichen Bereich, obwohl *in vitro* gute Ergebnisse

erzielt wurden [6, 8, 10]. Trotzdem wird ein intraorales Vorgehen empfohlen, da hierdurch ein passiver Sitz der Suprastruktur routinemäßig ermöglicht werden kann [13].

Um Paßungenauigkeiten auszugleichen, wird klinisch eine Klebfugenbreite von ca. 200 µm angestrebt. Die von uns gefundenen Werte für die Klebfestigkeit sind so groß, daß selbst bei einer Abnahme auf lange Sicht die Kaukräfte nicht in der Lage sein werden [3], den Klebverbund zu lösen, zumal dann nicht, wenn die Kaukraft auf mehrere Implantate verteilt wird.

Die Breite der Klebfuge ergab sowohl bei Nimetic Cem als auch bei Degussa Experimental signifikante Unterschiede in den Ergebnissen. Aber selbst die niedrigste Klebfestigkeit bei Degussa Experimental von 12,5 MPa nach 10^4 Zyklen thermischer Wechselbelastung entspricht noch einer einwirkenden Kraft beim Abscheren des Klebverbundes von über 600 N und dürfte von Kaukräften, sieht man einmal von Kaukraftspitzen bei Parafunktionen ab, nicht erreicht werden.

Mit einer Spannungsentwicklung im Bereich der Klebfuge durch Polymerisationsschrumpfung ist nicht zu rechnen, da durch die geringe Wasseraufnahme der Bis-GMA-Kleber und die damit verbundene leichte Aufquellung die Polymerisationsschrumpfung fast vollständig ausgeglichen wird [9,11]. Als positiv zu bewerten ist die Reparaturmöglichkeit, wenn es aufgrund von Alterungsprozessen des Klebers zu Lockerungen an der Klebverbindung kommt. Hierbei können die gelösten Zylinder, ohne Neuanfertigung der gesamten Arbeit, auf dem Arbeitsmodell oder im Mund neu fixiert und geklebt werden. Diese Möglichkeit ist zeitsparend und kostengünstig.

Ein weiterer Vorteil der Klebtechnik ist die einfache Durchführbarkeit sowohl im Labor als auch im Munde des Patienten [13]. Sie erfordert keine aufwendigen Apparaturen und kann aus diesem Grund auch eine breite Anwendung finden.

Schlußfolgerung

Die geklebten Gerüste sind mittlerweile seit über fünf Jahren im klinischen Einsatz. Neben Edelmetalllegierungen wurden auch Titangerüste mit Goldzylindern (auf dem Arbeitsmodell) verklebt. Hierdurch ist es möglich geworden, Titan mit all seinen Vorzügen für die Implantatversorgung auch in der prothetischen Konstruktion mühelos einzusetzen. Die erzielten Erfolge in der Implantat-Adhäsivprothetik weisen auf eine günstige Langzeitprognose hin.

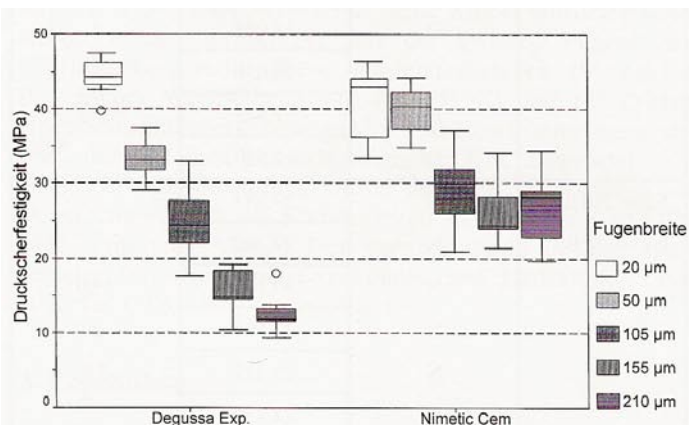


Abb. 5 Druckscherfestigkeit beider Kleber in Abhängigkeit von der Fugenbreite der Prüfkörper

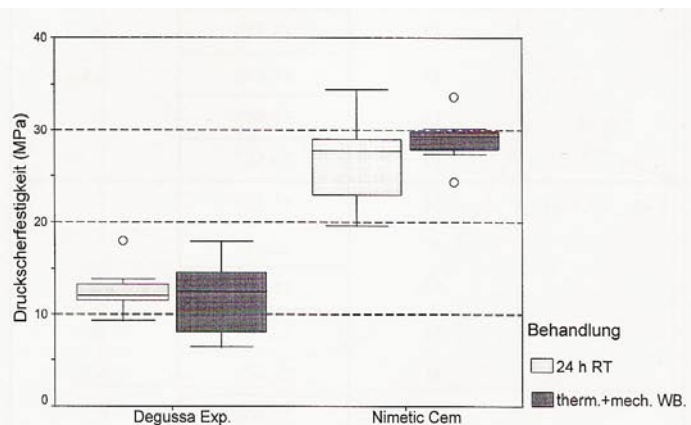


Abb. 6 Druckscherfestigkeit beider Kleber bei 210 µm Klebfuge in Abhängigkeit zur jeweiligen Behandlung [Raumtemperatur (RT), thermische und mechanische Wechselbelastung]

Literatur

1. Böning, K, Walter, M.: Metall-Keramik-Verbund von gegossenem Titan. Dtsch Zahnärztl Z 46, 750 (1991).
2. Busch, M., Kaijura, T.: Kleben statt Löten. Quintessenz Zahntech 16, 273 (1990).
3. Gerlach, K. L., Nußbaum, R: Elektrisches Meßverfahren zur Bestimmung der Belastbarkeit des Unterkiefers bei Patienten mit vollbezahntem Gebiß. Dtsch Zahnärztl Z 39, 146 (1984).
4. Habenicht, G: Industrielle Anwendung des Klebens. In: Habenicht, G. (Hrsg.): Kleben. Grundlagen - Technologie - Anwendungen, Berlin 1986, S. 474.
5. Janda, R.: Kleben und Klebetechniken. Teil 1: Allgemeine Prinzipien der Klebetechnik. Dent Lab 40, 409 (1992).
6. Kraft, J., Schäfer, G: Untersuchungen zur Verbundfestigkeit von Metallkeramik/Kunststoff-Systemen. Dtsch Zahnärztl Z 49, 124 (1994).
7. Küpper, H, Spiekermann, H: Titan: Ein neuer Dentalwerkstoff für prothetische Restaurationen? Zahnärztl Mitt 82, 56 (1992).
8. Marinello, C. R, Lüthy, H, Krüger, K: Mittels Hybridkompositgeklebte, verschieden konditionierte metallische Probekörper im Zugversuch. Dtsch Zahnärztl Z 44, 748 (1989).
9. Marx, R., Eggert, G: Dentalkleber bei Wasserdiffusion und thermischer Belastung. Dtsch Zahnärztl Z 41, 285 (1986).
10. Marx, R., Eggert, G: Feuchtprofile für Dentalkleber. Dtsch Zahnärztl Z 42, 876 (1987).
11. Marx, R., Eggert, G, Beldner, W: Thermische Ausdehnung und Plastifizierungstemperatur von Dentalklebern. Dtsch Zahnärztl Z 43, 465 (1988).
12. Steinweg, A.: Die Problematik spannungsfreier Suprastrukturen. Dent Lab 43, 1093 (1995).
13. Strub, J.R., Witkowski, S, Einsele, F.T.: Prothetische Behandlungskonzepte. In: Strub, J. R., Witkowski, S., Einsele, F. T. (Hrsg.): Enossale orale Implantologie aus prothetischer Sicht. Quintessenz, Berlin 1996, S. 41.
14. Wichmann, M., Dehnbostel, F.: Herstellung von Suprakonstruktionen auf Bränemarkimplantaten. Dent Lab 41, 955 (1993).
15. Wall, G: Angießen an Titan. Dtsch Zahnärztl Z 47, 521 (1992).
16. Zarb, G. A., Jansson, T.: Prothetische Versorgung. In: Bränemark, P. L, Zarb, G. A., Albrektsson, T. (Hrsg.): Gewebeintegrierter Zahnersatz - Osseointegration in klinischer Zahnheilkunde. Quintessenz, Berlin 1985, S. 237.

Manuskripteingang: 15.7.1998

Manuskript angenommen: 14. 4.1999

Korrespondenzadresse:

Dr. med. dent. Sabine Wolter
Medizinische Hochschule Hannover
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Carl-Neuberg-Str. 1,
D-30625 Hannover