

Retention und Widerstandsform bei zementierten Kronen und Brücken

Die herkömmliche Zementierung prothetischer Arbeiten aus hochbelastbaren Materialien bringt verschiedene klinische Vorteile. Dabei spielt die geometrische Form der Präparation eine bedeutende Rolle für eine dauerhafte, erfolgreiche Zementierung. Da das Präparationsdesign allein in der Hand des Zahnarztes liegt, ist es wichtig, sich die Zusammenhänge von geometrischem Halt und Widerstandsform immer einmal wieder in Erinnerung zu rufen. Der folgende Überblick ist ebendazu gedacht und unterstreicht die Bedeutung von bewusst angelegten Retentionsrillen, retentiven Kästen wie auch parallelen Wänden im Rahmen der Präparation.

Die zunehmende Verbreitung vollkeramischer Kronen und Brücken stellt den Praktiker häufig vor die Frage der richtigen Befestigung. Schwach belastbare Materialien, wie Silikatkeramiken, erfordern materialbedingt a priori eine adhäsive Befestigung und schließen die Verwendung konventioneller Zemente aus. Anders verhält es sich bei hochfesten Gerüsten, z. B. aus Zirkonoxid. Diese weisen den klinischen Vorteil auf, dass eine herkömmliche Zementierung möglich ist. Eine solche wiederum ist in der klinischen Anwendung schneller, einfacher und weniger empfindlich gegenüber einer Kontamination. Bei zementierbaren Restaurationen ist es in erster Linie der Umstand, ob ausreichend Retention und Widerstands-

form vorhanden ist, der darüber entscheidet, ob alternativ die adhäsive Befestigung vorteilhafter oder sogar erforderlich ist. Die Faktoren des geometrischen Halts werden trotz ihrer enormen Bedeutung in der täglichen Praxis bereits bei der Präparation häufig nicht ausreichend beachtet oder sorgfältig genug umgesetzt.

Grundsätzliches zur Restaurationsverankerung | Eine Restauration kann die funktionellen, biologischen und ästhetischen Anforderungen nur erfüllen, wenn sie sicher und fest auf dem Zahn verankert ist. Das Maß an Retention muss ausreichend groß sein, um abhebelnden funktionellen Kräften zu widerstehen. Bei konventionell zementierten

Versorgungen spielt dabei die geometrische Form der Präparation die größte Rolle. Sie entscheidet über den dauerhaften Halt, da sie die Orientierung der Grenzflächen zwischen Zahn und Restauration bestimmt, die dementsprechend entweder auf Kompression, Zug oder Scherung beansprucht werden. Die Präparationsform unterliegt außerdem der vollständigen Kontrolle des Zahnarztes. Alle konventionellen Zemente besitzen ihre höchste Festigkeit unter Druckbelastung¹. Die Haftkraft zwischen Krone und Stumpf beruht auf einer Verriegelung durch die Zementkörner². Bei der Verwendung von Phosphatzement weisen glatt finierte oder polierte Zahnoberflächen die geringsten Haftwerte auf³. Dort, wo eine Restauration direkt von der Zahnoberfläche abgezogen wird, verhindern nur die sehr schwachen adhäsiven Eigenschaften des Zementes ein Ablösen. Phosphatzement (ZnPO_4) weist eine hohe Druckfestigkeit (80–140 MPa), aber eine sehr geringe Zugfestigkeit (5–8 MPa) auf^{4,5}. Phosphatzemente besitzen so gut wie keine adhäsiven Hafeigenschaften an der Zahnhartsubstanz, sodass sich der Verbund von einer der beiden Flächen löst, noch bevor die geringe Zugfestigkeit zum Tragen kommt. Glasionomerezemente zeigen höhere Haftwerte an der Zahnhartsubstanz als ZnPO_4 -Zemente⁶. Im Vergleich zur modernen Adhäsivtechnik jedoch ist die GIZ-Haftung an Schmelz und Dentin als geringer einzuschätzen^{7–9} und nicht ausreichend, um die Faktoren geometrischer Halt und Widerstandsform vernachlässigen zu kön-



Dr. Jan Hajtő

Spezialist für Ästhetische Zahnheilkunde (DGÄZ)
1987–1993 Studium der Zahnheilkunde an der LMU München
1994 Promotion

Seit 1995 niedergelassener Zahnarzt in München

Tätigkeitsschwerpunkte: komplexe ästhetische Zahnmedizin und fest-sitzende Versorgungen mit Vollkeramik

Regelmäßige Publikationen sowie Vorträge zu den Themen Ästhetik, Keramik und CAD/CAM

Autor des Buches „Anteriores – Natürlich schöne Frontzähne“, Teamwork Media Verlag, 2006

Gründer und Mitgesellschafter der biodentis GmbH

Seit 2008 Anbieter von Fachseminaren im absolute Ceramics Schulungszentrum München zum Einstieg in die Kunst der ästhetischen Behandlung mit Veneers und anderen vollkeramischen Restaurationen

nen. Während mittels Schmelzätzung adhäsiv befestigte Glaskeramik (z. B. Inlays, Veneers, Teilkronen) auch ohne jeglichen mechanischen Halt dauerhaft befestigt werden können, kann eine vollständig fehlende Retention von – meist ausschließlich auf Dentin geklebten – Kronen oder Brücken durch adhäsive Befestigungsmaterialien nicht immer sicher kompensiert werden. Insbesondere weitspännige falsch präparierte Brücken können sich trotz einer Verklebung am distalen Pfeiler dezementieren. In der Praxis hängen Retention und Widerstandsform eng miteinander zusammen und sind nicht immer klar zu trennen.

Die Retention | Retention ist die Eigenschaft einer Präparation, der Entfernung einer Restauration entgegen *ihrer Einschubrichtung* entgegenzuwirken. Senkrecht abziehende Kräfte können im Mund bei sehr klebrigen Speisen oder aufgrund von Hebelwirkungen bei Brücken auftreten. Bei zementierten Versorgungen spielen dabei die physikalischen Eigenschaften des Zementes, insbesondere dessen Scher- und Zugfestigkeit in Zusammenhang mit der Oberflächenrauigkeit der Flächen sowie seine Haftung, eine große Rolle. Je konischer ein Stumpf ist, desto mehr wird der Zement bei abziehenden Kräften auf Zug belastet. Daher steht die Retention im Zusammenhang mit den Eigenschaften des verwendeten Zementes sowie der Oberflächenbeschaffenheit von Zahn und Restauration und fällt mit zunehmenden Konuswinkel sehr rasch ab (Abb. 1).

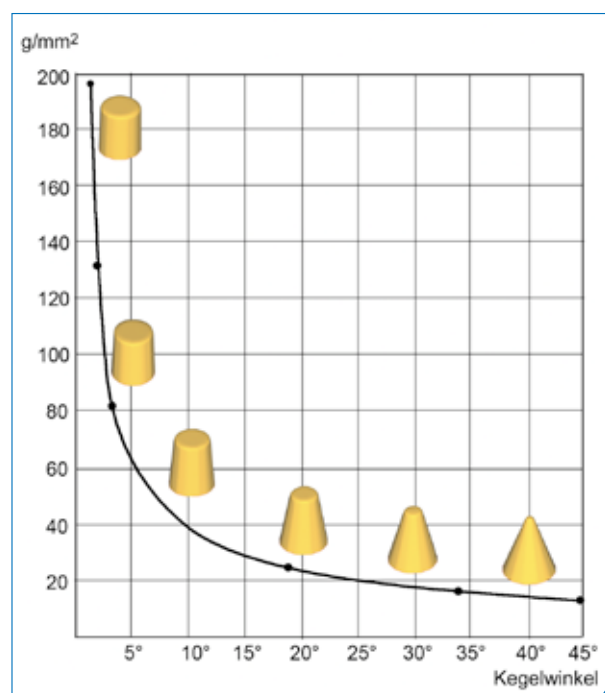


Abb. 1: Retention: Der Halt einer mit Phosphatzement zementierten Krone bei vertikalen Abzugskräften fällt bei zunehmenden Kegelwinkel sehr rasch ab (nach Jørgensen10).

Der Kegelwinkel oder Konuswinkel entspricht der Summe der gegenüberliegenden Konvergenzwinkel, um welche die Steigung der Präparation von der Kronenlängsachse abweicht (Abb. 2). Für Vollkeramikronen wird in der Regel ein Präparationswinkel von mindestens 3° empfohlen^{11,12}. In der Abbildung 3 sind zur Veranschaulichung runde Kronenstümpfe mit 5 mm Durchmesser an der Basis und 6 mm Höhe bei unterschiedlichen Präparationswinkeln dargestellt.

Bei erfahrenen Behandlern wurden durchschnittliche Präparationswinkel (Konvergenzwinkel) von 7,3° gefunden. Je nach Lokalisation und Zugänglichkeit variierten die Werte von 4,3° bis 13,3°¹³. Die Auswertung von Modellen in einem Dentallabor in den USA ergab einen Durchschnittswert von 10°¹⁴. Es ist davon auszugehen, dass im Praxisalltag generell konischer präpariert wird als die geforderten 3°. Je größer die Gesamtoberfläche des Stumpfes ist, desto größer ist die retentive Fläche. Die Größe ist vor allem durch die Größe des Zahnes bestimmt und kann durch die Präparation nur in Grenzen beeinflusst werden. Wichtiger als die Größe der Oberfläche ist das Vorhandensein möglichst vieler gegenüberliegender paralleler Wände, da dort der Zement nur auf Scherung und nicht auf Zug belastet werden kann. Je konischer ein Stumpf ist, desto mehr mögliche Abzugsrichtungen entstehen, wodurch sich das Risiko einer Dezementierung erhöht. Im Idealfall ist die Präparation so angelegt, dass es nur eine einzige Einschubrichtung



Abb. 2: Nomenklatur der Winkel.



Abb. 3: Ab einem Konvergenzwinkel von ca. 6° werden die Stümpfe (Ø 5 mm, Höhe 6 mm) deutlich konisch. Die Winkelangaben beziehen sich auf den Konvergenzwinkel.

tung gibt¹⁵. Retentionsrillen können dies bewirken (Abb. 4).

Die Widerstandsform | Die Widerstandsform verhindert die kippende oder gleitende Ablösung der Restauration aufgrund von exzentrischen Belastungen (Abb. 5a). Exzentrische Belastungen können entweder bei horizontal oder schräg auf die Kronen auftreffenden Kräften (Abb. 5b) oder bei ausladenden Kronengeometrien und Hebelkräften (Brücken), auch aufgrund von apikal gerichteten Kräften entstehen (Abb. 5c). Der Widerstand gegenüber einem Abkippen muss in der Präparationsform mittels hemmender Flächen angelegt sein. Rotationshemmende Flächen liegen

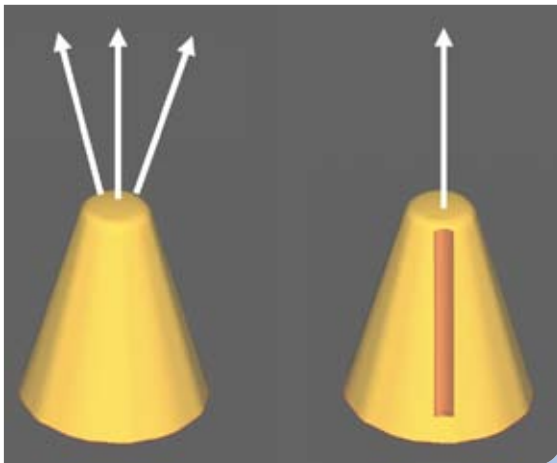


Abb. 4: Eine Retentionsrinne limitiert die möglichen Einschubrichtungen.

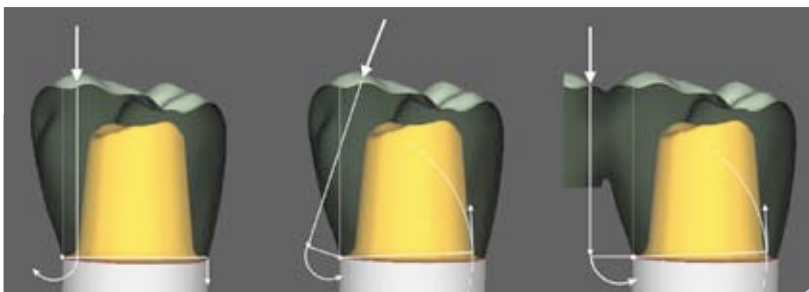


Abb. 5a: Parallel zur Einschubrichtung wirkende Belastungen, die innerhalb der nach okklusal projizierten Präparationsgrenzen auftreffen, erzeugen keine Kippmomente. Die Krone wird an jeder Stelle der Innenfläche in Richtung Stumpf gedrückt.

Abb. 5b: Diagonal oder horizontal auftretende Kräfte erzeugen einen Torque, der die Krone um einen Punkt am Kronenrand rotieren lässt, der dem Kraftvektor am nächsten liegt.
Abb. 5c: Außerhalb der Präparationsgrenzen können auch vertikale Kräfte eine Rotation bewirken.

oberhalb des Punktes, an dem die Präparationsfläche die Tangente zur Kreisbahn bildet (Abb. 6). Bei einer hypothetischen spaltfreien Passung blockiert der außerhalb des Kreises gelegene Bereich mechanisch eine ausschließliche Derotation (ohne eine zusätzliche vertikale Abhebung). Da Kronen immer einen Zementspalt aufweisen, ist zusätzlich dessen Größe zu berücksichtigen. Der geometrische Halt ist eine Eigenschaft, die primär ohne jeglichen Zement vorhanden ist und allein von der Geometrie abhängt. Je größer die Zementfuge, also je loser die Passung der Krone ist, desto geringer ist der Halt, da sich die Fläche, welche für eine sichere Kippmeidung sorgt, verringert

(Abb. 7). Die Ausdehnung dieser Fläche nach apikal stellt ein direktes Maß für den mechanischen Halt einer Krone dar. Sie hängt neben der Passung gleichzeitig von der Länge, dem Durchmesser und der Konizität des Stumpfes ab (Abb. 8). Selbst sehr kurze Stümpfe können bei einer ausreichenden Parallelität der axialen Wände eine Lagesicherung der Krone gewährleisten. Bei langen Stümpfen ist da-

gegen x auch bei größerer Taper möglich. Aus diesem Grund sind fixe Winkelangaben oder minimale Stumpfhöhen für ideale Präparationen wenig sinnvoll und klinisch ohnehin schwer umzusetzen.

Die klinische Relevanz ist grundlegend und vielfältig. So ist z. B. das Anlegen von parallelen Retentionsrillen ein sehr wichtiges Mittel, um Kronen auf problematischen Stümpfen zu sichern (Abb. 8d). Ist der Zahnarzt sich dieser Prinzipien bewusst, so wird bei Molarenpräparationen (kur-

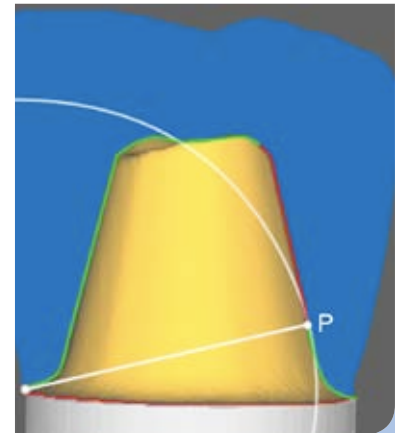


Abb. 6: Bei einer Rotation um eine Drehachse, die durch einen Punkt am Kronenrand verläuft, wird die Zementfuge auf der gegenüberliegenden Seite des Stumpfes okklusal des Punktes P auf Druck belastet (rot). Alle Punkte apikal von P weisen eine Komponente der Zugbelastung auf (grün). An Punkt P weist der Zement eine reine Scherbelastung auf.

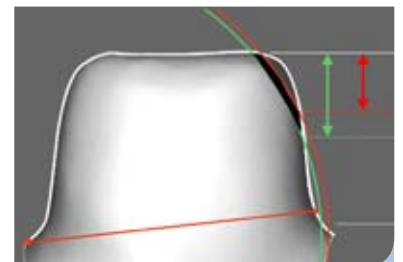


Abb. 7: Je größer der Zementspalt der Krone ist, desto geringer ist der Bereich am Stumpf, der für eine sichere mechanische Kippmeiderfunktion sorgt (schwarz/grau). Die Höhe dieses Bereiches im Verhältnis zur Stumpfhöhe ist ein Maß für den geometrischen Halt einer Krone.

ze Zähne großen Durchmessers) auf eine hohe Parallelität besonderer Wert gelegt (Abb. 9a u. b). Lange Zähne werden konischer präpariert. Obere Schneidezähne mit in sagittaler Ebene dreieckigem Querschnitt sollten palatinal mit einer zur Labialfläche parallelen Stufe versehen werden. Bei endodontisch behandelten Zähnen lässt sich in kritischen Fällen der erforderliche Halt durch einen zentralen Endokasten erzielen. Jede Krone und Brücke sollte nach

Kern im Labor auf dem Modell auf ein mögliches Abkippen in vier Richtungen geprüft werden¹⁶. Auch im Patientenmund kann der Widerstand gegenüber einem Herunterrotieren auf diese Weise getestet werden, wobei Nachbarzähne eine vollständige Überprüfung in allen Richtungen beeinträchtigen können. Als wichtigste klinische Konsequenz ist bei mangelndem Widerstand eine adhäsive Befestigung vorzuziehen (z. B. Multilink Automix, Ivoclar Vivadent, oder

Rely X ARC, 3M ESPE). Als Standardbefestigungsmaterial für alle zementierten Restaurationen haben sich in der eigenen Praxis kunststoffmodifizierte Glasionomerkemente (z. B. Fuji Plus GC) sehr bewährt. Diese weisen den Vorteil auf, dass aufgrund der höheren adhäsiven Eigenschaften eine zusätzliche Sicherheit gegeben ist.

Die in den Abbildungen 5 bis 8 wiedergegebenen Prinzipien gelten natürlich dreidimensional in allen Richtungen. Nach Hedgedahl und Sillness stellt der rote Bereich die „Area of Resistance“ dar¹⁷. In den Abbildungen 10 bis 12 sind beispielhaft einige Situationen dargestellt. Während dieser Bereich bei parallelen Stümpfen und guten Passungen fast die Hälfte der Gesamtfläche erreichen kann (Abb. 10), nimmt seine Ausdehnung bei ungünstigeren Situationen schnell ab (Abb. 11). Die Größenordnung des Zementspalteeinflusses ist aus den Abbildungen ebenfalls zu ersehen. Dies ist insofern von besonderer klinischer Bedeutung, da CAD/CAM-gefertigte Vollkeramikgerüste fertigungsbedingt generell eine etwas losere Passung aufweisen als Goldgussrestaurationen. In grenzwertigen Situationen kann die etwas leichtere Passung den Ausschlag geben, ob ein sicherer Halt vorhanden ist oder nicht (Abb. 12).

In Finite-Elemente-Berechnungen wurden Hinweise gefunden, dass die Rotationsachse möglicherweise in Abhängigkeit vom Elastizitätsmodul

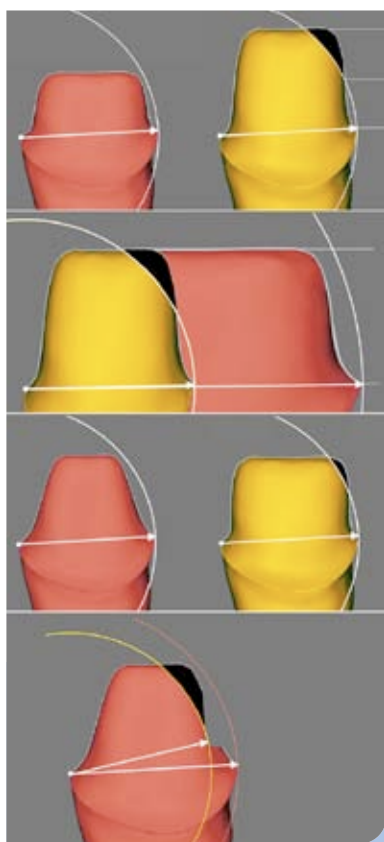


Abb. 8: Die Ausdehnung des hemmenden Bereiches (schwarz dargestellt) ist unmittelbar abhängig von der Länge, Breite und Konizität des Stumpfes.

- a) Bei gleichem Konus und Durchmesser erhöht eine größere Länge den Halt.
- b) Bei gleicher Höhe und gleichem Konus verringert ein größerer Durchmesser den Halt.
- c) Bei gleicher Höhe und Breite verringert ein größerer Konuswinkel den Halt.
- d) Funktionsprinzip einer Retentionsrinne: Der geringere Abstand zur Drehachse sowie die Parallelität (geringere Konizität) schaffen einen rotationshemmenden Bereich.



Abb. 9a u. b: Klinisches Beispiel einer Molarenkronenpräparation mit ungünstigem Höhen-Breiten-Verhältnis. Bei sorgfältiger Vermeidung zu konvergenter Seitenflächen weist auch ein solch niedriger Stumpf eine ausreichende Retention auf.



Abb. 10-12: Ausdehnung der „Area of Resistance“ (roter Bereich)¹⁷. Die Größenordnung des Zementspalteeinflusses ist auf den Abbildungen ebenfalls zu ersehen.

Abb. 10: Bei parallelen Stümpfen und guten Passungen kann die „Area of Resistance“ fast die Hälfte der Gesamtfläche erreichen.

des Zahnes oder des Zementes auch weiter koronal oder innerhalb des Stumpfes verlaufen kann, wodurch sich eine andere dreidimensionale Verteilung der Kompressions- und Zugzonen ergäbe¹⁸. Die grundsätzlichen Zusammenhänge bleiben hiervon allerdings unbeeinflusst und es wurde bestätigt, dass der Widerstand gegen laterale Dislokation von dem Verhältnis der Druck- und Zugbereiche abhängt.

Eine Lagesicherung ist schließlich auch gegen Rotationen in axialer Richtung anzustreben. Kreisrunde zylindrische Stümpfe oder Implantat-Abutments, auf denen eine Krone horizontal frei rotieren kann, können eine Dezementierung begünstigen.

Das Brückenproblem | Ein spezielles Problem stellen Brücken dar. Es ist seit langem bekannt, dass vor allem weitspännige Brücken die Tendenz aufweisen, am distalen Pfeiler zu dezementieren. Dies ist im Unterkiefer häufiger zu beobachten als im

Oberkiefer, was der Verwindung des horizontalen Unterkieferastes durch den Muskelzug zugeschrieben wird. Es finden sich Empfehlungen, in solchen Fällen mit individuellen Geschieben im Sinne von „Stress breakers“ einen gewissen Bewegungsausgleich zuzulassen. Sofern technisch beherrscht, kann diese Methode mit metallkeramischen Brücken sehr erfolgreich angewendet werden¹⁹. Leichte ästhetische Einbußen sind möglicherweise in Kauf zu nehmen. Für Geschiebe bei zirkonbasierten Brücken sind noch keine langfristigen klinischen Daten vorhanden.

Im Praxisalltag wird die Mehrzahl aller Brücken ohne Geschiebe hergestellt und wegen der Einfachheit eher angestrebt. Dies ist auch erfolgreich möglich, wenn das Prinzip des geometrischen Haltes verstanden und verinnerlicht wurde. Dem Dezementierungsrisiko liegt nämlich zu einem großen Teil das beschriebene geometrische Problem zugrunde: Der weite Abstand zwischen den Pfeilern er-

höht den ungünstigen Faktor „Breite“ für die Gesamtkonstruktion um ein Vielfaches. In den Abbildungen 13 und 14 sind die Fälle für lose aufgesetzte und zementierte Brücken dargestellt.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Stumpfhöhe nach distal in der Regel abnimmt und gleichzeitig der Durchmesser von Molaren zunimmt. Im Unterkiefer sind Kronenstümpfe oder Brückenpfeiler an Molaren – bedingt durch die Kronenanatomie kürzer – als im Oberkiefer. Die entscheidende steile Präparation der distalen Fläche des endständigen Pfeilers ist im Patientenmund oft nur sehr schwer zu verwirklichen. Nahe Antagonisten verhindern häufig eine korrekte Positionierung des Winkelstücks und die Folge ist eine nach mesial geneigte Fläche.

Praxistipp: In solchen schwierigen Ausnahmefällen hat es sich in der Praxis bewährt, ein vom Schaftende her gekürztes Diamantinstrument zu verwenden, wodurch die Gesamthöhe des Winkelkopfes verringert wird (Abb. 15). Bei allen Brücken ist dieser distalen Flanke besondere Aufmerksamkeit und Sorgfalt zu widmen.

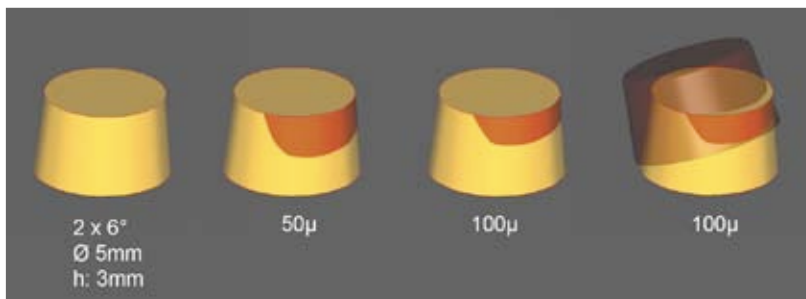


Abb. 11: Im Vergleich zu Abb. 10 nimmt die Ausdehnung der „Area of Resistance“ bei ungünstigeren Situationen schnell ab.

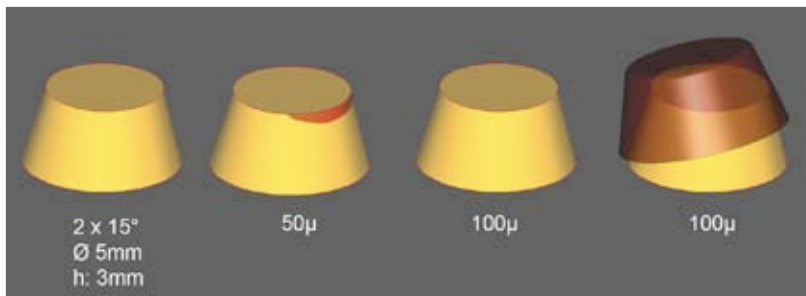


Abb. 12: Hinsichtlich der „Area of Resistance“ liegt eine grenzwertige Situation vor. Hier kann die etwas leichtere Passung den Ausschlag geben, ob ein sicherer Halt vorhanden ist oder nicht.

Das folgende klinische Beispiel veranschaulicht die wesentlichen beschriebenen Aspekte einer retentiven Präparationsform: Die viergliedrige Brücke von Zahn 14 auf 17 hatte sich am distalen Pfeiler dezementiert. Auf Abbildung 16 ist deutlich die zu konische distale Fläche des Kronenstumpfes 17 zu erkennen, insbesondere zu der Achse des Zahnes 14. Darüber hinaus ist der Stumpf aufgrund der geringen okklusalen Platzverhältnisse relativ kurz. In Abbildung 17 ist die Parallelisierung der Stümpfe dargestellt.

Fazit | Die Kenntnis und die klinische Anwendung der dargestellten grundlegenden Zusammenhänge erhöhen den klinischen Erfolg zementierter prothetischer Arbeiten und sind für



Abb. 13: Nicht zementierte Brücke: Diese sollte auf dem Gipsmodell (ohne mesialen Nachbarzahn) immer dahingehend kontrolliert werden, ob sie sich nach mesial herunterrotieren lässt. Aufgrund der Verblockung liegt der Drehpunkt an der mesialsten Stelle des mesialen Pfeilerzahnes. Selbst wenn dieser Zahnstumpf in sich retentiv ist, so besteht je nach Größe der Zementfuge und Stumpfgeometrie immer eine initiale Beweglichkeit (grün, mesial), bis eine okklusale Kollision der Kroneninnenfläche an der distalen Wand des Stumpfes die Bewegung hemmt. Sofern am distalen Pfeilerzahn wegen des vergrößerten Radius (weiß) keinerlei mechanischer Widerstand auftritt (grün, distal), hängt die sichere Verankerung der Brücke allein am mesialen Pfeiler.



Abb. 14: Zementierte Brücke: Ist die Brücke am mesialen Zahn sicher verankert, so kann infolge der physiologischen Zahnbeweglichkeit oder von Kieferdeformationen dennoch ein Drehmoment auf den distalen Pfeiler ausgeübt werden. Der Drehpunkt kann dabei je nach Ursache weit mesial liegen und der Radius entsprechend groß sein.



Abb. 15: Gekürzte Diamantinstrumente erlauben einen besseren Zugang in posterioren Bereichen mit engen antagonistischen Platzverhältnissen. Die Kürzung kann mit Trennscheibe und Gummipolierern selbst vorgenommen werden.



Abb. 17: Dieselbe Situation wie in Abb. 14 nach einem adhäsiven Aufbau des Pfeilerzahnes 17 mit Komposit. Bei der Präparation wurde darauf geachtet, dass der Stumpf maximal parallele Wände aufweist und diese mit der Einschubrichtung des Zahnes 14 übereinstimmen. Die Retentionsrinne bukkal an 17 sorgt für eine zusätzliche Verankerung (Pfeil). Entscheidend für den dauerhaften Halt der Brücke ist die Orientierung der distalen Fläche an 17 (Doppelpfeil).



Abb. 16: Situation einer am distalen Pfeiler gelockerten viergliedrigen Brücke nach der Durchtrennung zwischen 15/16 und der Entfernung des gelockerten Anteils.

jeden Zahnarzt von hoher Relevanz für das Präparationsdesign. Die Gründe für die bewusste Anlage von Retentionsrillen, retentiven Kästen und parallelen Wänden in der Präparation müssen auch dem Zahntechniker bekannt sein, damit diese nicht fälschlicherweise ausgeblockt werden.

CAD/CAM-gefertigte Gerüste weisen keine so enge Passung auf wie gegossene Werkstücke. Daher ist bei solchen Versorgungen besonders auf den mechanischen Halt zu achten. Kunststoffverstärkte Glasionomerzemente haben sich für Kronen und Brücken auf Zirkonoxidbasis klinisch sehr gut bewährt. In zweifelhaften Fällen ist eine echte adhäsive Befestigung vorzuziehen.

Literaturliste unter
www.zmk-aktuell.de/literaturlisten

Korrespondenzadresse:

Dr. Jan Hajtó
Weinstraße 4
80333 München
Tel.: 089 2423991-0
Fax: 089 2423991-21
dr.jan.hajto@t-online.de