

3 MATERIAL UND METHODE

3.1 Probanden und klinischer Versuchsaufbau

In der Zeit von Mai 1997 bis Mai 1998 wurden 40 PROCERA-Kronen bei 31 Patienten (15 Frauen, 16 Männer) eingegliedert. Die Kronen wurden im Rahmen einer prospektiv angelegten Studie zur Evaluierung der Langzeitstabilität von vollkeramischen Kronen angefertigt.

Es wurden 28 Kronen im Oberkiefer und 12 Kronen im Unterkiefer einzementiert, davon waren 17 Kronen im Frontzahnbereich und 22 Kronen im Seitenzahngebiet. Der oberen Schneidezähne wurde mit 16 Kronen am häufigsten versorgt (Tab.3.1).

Untere mittlere Schneidezähne und erste Prämolaren wurden mit nur je einer Krone am wenigsten überkront. Eckzähne sowie untere seitlichen Schneidezähne wurden in dieser Untersuchung nicht versorgt.

Tab.3.1 Verteilung der PROCERA-Kronen				
	Oberkiefer	n= 28	Unterkiefer	n= 12
mittlere Schneidezähne		8		1
seitliche Schneidezähne		8		
Eckzähne				
1. Prämolaren		5		1
2. Prämolaren		2		3
1. Molaren		3		6
2. Molaren		1		1

3.2 Indikation

Die Indikationen für eine Versorgung mit einer vollkeramischen Einzelzahnrestauration waren vom Ausmaß der Zerstörung der klinischen Zahnkrone abhängig. Verfärbte, endodontisch behandelte Zähne und multiple Füllungen und stellten weitere Gründe für die Überkronung dar.

Die Hauptindikation stellte den Ersatz von bestehenden insuffizienten Zahnersatz dar, welcher aus primär ästhetischen Gründen oder wegen vorhandener Sekundärkaries ersetzt werden musste (Abb.3.1)



Abb.3.1 Patientenfall: Ausgangssituation

3.3 Präparation

Die angewandte Präparationstechnik orientierte sich an den allgemeingültigen Richtlinien zur systematischen Präparation eines Zahnes zur Aufnahme von feststehendem Zahnersatz:

Tab.3.2 Mindestabtrag in mm	
Breite der Hohlkehle	0,8-1,2 mm
Zirkuläre Reduktion	1,2-1,5 mm
Reduktion inzisal (Frontzahn)	2,0-2,5 mm
Reduktion okklusal (Seitenzahn)	1,5-2,0 mm

Anzustreben sind die Erhaltung der Zahnhartsubstanz, der Schutz der Pulpa und des marginalen Parodonts sowie eine geeignete Retentions- und Widerstandsform unter Berücksichtigung von systembedingter und ästhetischer Faktoren.

Alle Zähne wurden mit Hilfe einer Lupenbrille bei 4,5-facher Vergrößerung präpariert.

Bei einer geplanten subgingivalen Präparation im ästhetisch wichtigen Frontzahnbereichen wurde vor Beginn der Präparation ein Retraktionsfaden (Doppelfadentechnik, Fadenstärke 00 bis 0) in den Sulkus eingelegt.

Ziel der Präparation ist eine **Hohlkehle** mit ausreichender Reduktion der Zahnhartsubstanz (Tab.3.2 sowie Abb.3.2, Abb.3.3). Eine Stufe, wie sie für

andere vollkeramische Systeme gefordert wird, ist als Präparationsgrenze systembedingt nicht notwendig [10].

Scharfe Kanten sind zu vermeiden und Übergänge abgerundet zu gestalten. Approximale Kästen und Rillen zur Verbesserung der Widerstandsform werden durch den Scanner nicht erfasst. Leichte approximale Konkavitäten für eine Verbesserung der Rotationssicherheit sind zulässig.

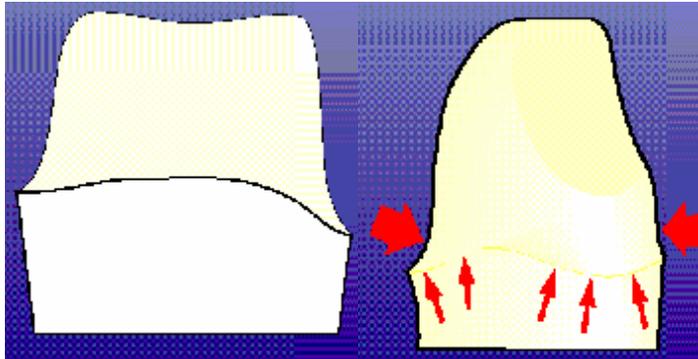


Abb.3.2 deutliche Hohlkehle und harmonischer Verlauf der Präparationsgrenze

Der Präparationswinkel der Hohlkehlpräparation sollte zwischen 60 und 90° betragen. Für einen Winkel von 90° eignen sich abgerundete zylindrische Diamanten (Fig.-Nummer nach ISO: 881), für einen Winkel von 60° sind flammenförmige Diamanten (Fig.-Nummer nach ISO: 879) geeigneter. Die Oberfläche des Zahnes wird abschließend mit Finierdiamanten geglättet



Abb.3.3 definitive Präparation mit eingelegetem zweiten Faden

3.4 Abformung und Modellherstellung

Die Abformung erfolgt mit einem additionsvernetzenden Polyvinylsiloxan (Permagum, 3M ESPE) in einer zweizeitigen und zweiphasigen Abformmethode. Das Putty-Material wird per Hand im Verhältnis 1:1, das Korrekturmaterial im Kartuschensystem mit einer handelsüblichen Handmischpistole angemischt.

Die Darstellung der Präparationsgrenze erfolgt mit einer Doppelfadentechnik. Ein Retraktionsfaden der Größe 00 bis 0 wird tief in den Sulkus eingelegt, ein zweiter Faden der Größe 1 direkt darüber.

Die Erstabformung mit dem Putty-Material wird mit Festwandlöffeln mit angelöteten Retentionen durchgeführt. Nach Aushärten des Materials wird der Löffel aus dem Mund entfernt und ausgeschnitten. Alle Interdentalsepten werden entfernt und Abflussrillen an allen Zähnen angebracht.

Vor dem Umspritzen der präparierten Stümpfe mit Korrekturmaterial wird nur der obere Faden entfernt, der untere Faden verbleibt während des Abdruckes im Mund. Der Abdruck ist mit einer Lupenbrille mit 4.5-facher Vergrößerung auf seine Qualität und Detailgenauigkeit zu kontrollieren. Anschließend erfolgt die Desinfektion in einem Tauchbad (Impresept, 3M ESPE).

Wegen der elastischen Deformation ist der Abdruck frühestens nach 3 Stunden mit einem Superhartgips Typ IV (Moldastone, Heareus-Kulzer) auszugießen. Um die Stümpfe vor Beschädigungen zu schützen, wird vor dem Trimmen der Zahnkränze eine dünne Silikonschicht zum Schutz der Präparation aufgetragen. Das Oberkiefermodell ist schädelbezüglich in einen halbindividuellen Artikulator einartikuliert, die Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer erfolgt mit Hilfe einer Kieferrelationsbestimmung in habitueller Interkuspitation (Silikonregistrator, Härte: Shore 90A; Memoreg, Heareus Kulzer). Das Freilegen der Präparationsgrenze erfolgte durch den Behandler. Es werden alle Präparationen unter einem Mikroskop bei 16-facher Vergrößerung (Stemi SV11, Zeiss) freigelegt.

Damit ein fehlerfreies Abtasten des Modellstumpfes im Scanner erfolgen kann, ist eine entsprechende Vorbereitung erforderlich. Es ist ein geringer Unterschnitt, die sog. Technikerhohlkehle, direkt unterhalb der

Präparationsgrenze anzubringen. Die Tiefe des Unterschnitts sollte 0,5 bis max. 1,5 mm, die Höhe mind. 1,0 mm betragen. Die Präparationsgrenze wird mit einem Farbstift markiert und mit einem Stumpflack (Margidur, Wohlwend) gehärtet. Nur bei einer steil-konischen Präparation wird zusätzlich ein sog. Die-Spacer dünn bis 1mm an die Präparationsgrenze aufgetragen.

3.5 Scannen

Der PROCERA-Scanner Mod. 40 ist ein mechano-elektronisches Abtastinstrument zum Digitalisieren der Modellstumpf-Oberfläche (Abb.3.4).



Abb.3.4

PROCERA Scanner Modell 40

Die Abtastspitze besitzt eine Saphirkugel mit einem Durchmesser von 5 mm, welche die Stumpfoberfläche abtastet. Es werden pro Abtastvorgang ca. 20.000-30.000 Messpunkte ermittelt. Das vollständige Abtasten eines Zahnstumpfes dauert ca. 2 Minuten.

Das Scannen unterteilt sich in 4 Abschnitte:

- Kalibrierung
- Scannen des Stumpfes
- Design der Kronenkappe (coping)
- Datenfernübertragung

3.5.1 Kalibrierung

Vor dem eigentlichen Abtasten des Modellstumpfes wird der Scanner mit einer Kalibrierlehre geeicht. Die genormte Lehre wird eingespannt und auf den scannerspezifischen Wert von 2998 eingestellt. Diese Eichung wird anschließend gespeichert.

3.5.2 Scannen des Stumpfes

Der Modellstumpf wird in einen Schraubstock eingespannt und auf dem rotierenden Drehteller mit Hilfe einer Laserdiode mittig zentriert (Abb.3.5).



Abb.3.5 Modellstumpf in der Spannvorrichtung montiert

Die Sondespitze des Abtastinstruments wird unterhalb der Präparationsgrenze einjustiert (Abb.3.6, Fig. 1). Nach Aktivierung des Abtastprogramms dreht sich der Modellstumpf mit einer Rotationsgeschwindigkeit von 1,5 Umdrehungen/sec., das Abtastinstrument wird langsam von apikal nach inzisal/okklusal am Stumpf entlang geführt, hierdurch wird die Oberfläche des Stumpfes spiralförmig erfasst (Abb.3.6, Fig. 2).

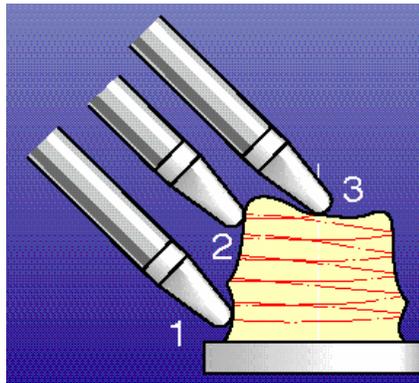


Abb.3.6 Scanning des Modellstumpfes

Bildquelle Nobel Biocare

Nach dem Abtasten der Okklusalfläche (Abb.3.6, Fig. 3) erkennt der Scanner automatisch die Endposition und bricht den Vorgang ab. Anschließend kehrt der Scanner in seine Ausgangssituation zurück.

Nach dem Scann-Vorgang wird ein sog. Auftragsformular mit den erforderlichen Spezifikationen, den Patientendaten, der Zahnbezeichnung und den entsprechenden Behandlerkenndaten erstellt.

3.5.3 Gerüstdesign

Nach dem Aufrufen des CADD-Programms (**C**omputer-**A**ided-**D**ental-**D**esign) wird der virtuelle Zahn im Rechner generiert. Auf dem Monitor erscheint ein Querschnitt der abgetasteten Stumpfform (Abb.3.7).

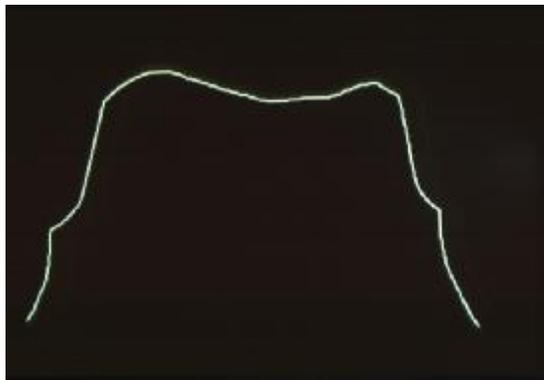


Abb.3.7 Querschnitt eines virtuellen Zahnstumpfes

Mit Hilfe eines Fadenkreuzes wird die Präparationsgrenze am Bildschirm durch den Behandler bzw. den Zahntechniker festgelegt (Abb.3.8).

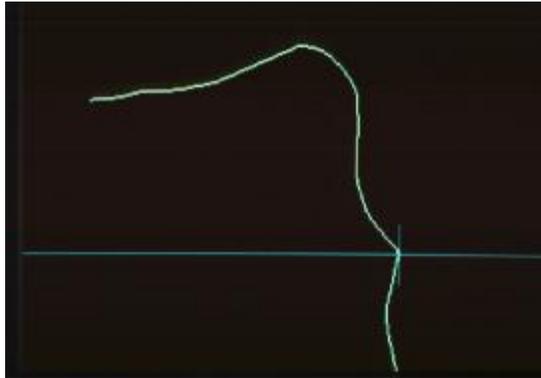


Abb.3.8 Festlegen der Präparationsgrenze

Die exakte Position der Präparationsgrenze wird mit den Cursor-Tasten der Tastatur bestimmt und bestätigt. Das Kronengerüst wird nach Festlegen der Parameter Wandstärke und Emergenz-Winkel errechnet und auf dem Bildschirm dargestellt (Abb.3.9). Die Wandstärke bezeichnet die Dicke der Kappe, der Emergenz-Winkel ist der Winkel zwischen präparierter Stumpfoberfläche und der Oberfläche des Gerüsts, welche durch die Präparationsgrenze und der gewählten Wandstärke definiert wird.

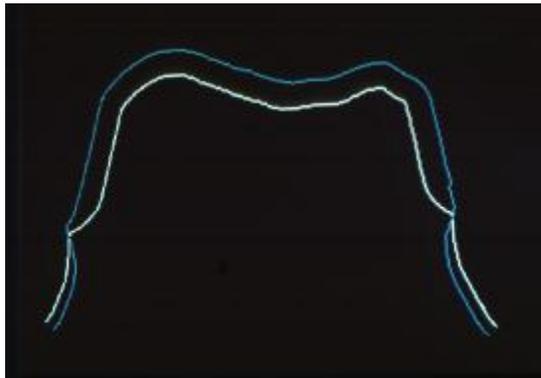


Abb.3.9 fertig konstruiertes Gerüst (coping)

Für die angefertigten Kronengerüste aus Aluminiumoxidkeramik wurden folgende Parameter standardisiert gewählt:

Wandstärke	600 μm
Emergenz-Winkel	15°

3.5.4 Übertragung der Daten

Nach Abspeichern und Erstellen einer Sende-Datei werden die Daten mittels eines handelsüblichen DFÜ-Modems mit einer Geschwindigkeit von 9600 Bauds/min an die Produktionsstätte Sandvik AB in Göteborg/Schweden übermittelt.

3.6 Gerütherstellung

In der zentralisierten Produktionsstätte werden nun mit den übermittelten Datensätzen die Fräsbahnen für einen Modellstumpf in originaler Größe sowie ein um ca. 20% vergrößerter Modellstumpf von einer NC-Frässtation hergestellt (Abb.3.10). Diese Vergrößerung ist notwendig, da während des Zusammensinterns die Aluminiumoxidkeramik einem Schrumpfungsprozess von 20% linear unterliegt.

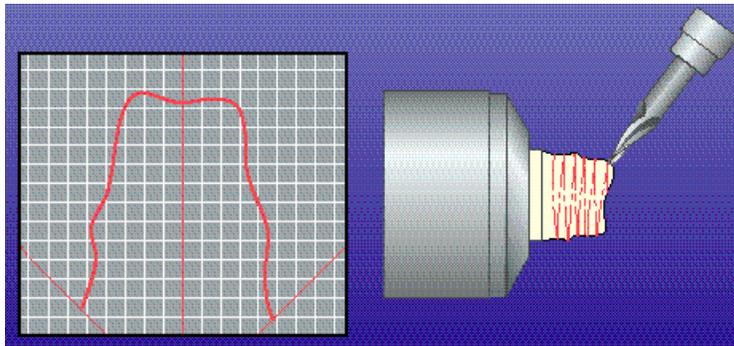


Abb.3.10 Fräsen des Modellstumpfes im Übergröße

Bildquelle Nobel Biocare

Hochreines Aluminiumoxidpulver mit einer durchschnittlichen Korngröße von 5 μm wird nun mit einem Druck von 2 Tonnen auf den vergrößerten Modellstumpf gepresst. Dieser enorme Druck erzeugt eine hohe Packungsdichte der Aluminiumoxidteilchen.

Die äußere Form der Gerüstkappe wird mit einer NC-Fräsmaschine in diesem Stadium geformt (Abb.3.11). Da das Gerüst zu diesem Zeitpunkt noch nicht gesintert und ausgehärtet ist, erfolgt dieser Vorgang schnell und präzise.

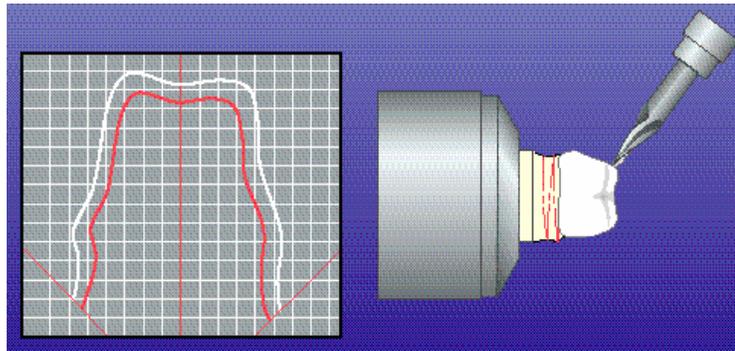


Abb.3.11 Fräsen der Oberfläche nach dem Pressen

Bildquelle Nobel Biocare

Diese Kappe wird bei einer Temperatur von über 1600 °C gesintert. Durch den Sinterungsprozess bedingt schrumpft die Kappe auf die Originalgröße zurück. Nach einer abschließenden Kontrolle der Qualität des Randschlusses auf dem Kontrollstumpf in Originalgröße wird die Gerüstkappe in das zahntechnische Labor geschickt (Abb.3.12)



Abb.3.12 fertige Aluminiumoxid-Gerüste

3.7 Verblendung

Nach dem Aufpassen der Kronengerüste auf den Modellstumpf bzw. einer Gerüststeinprobe am Patienten werden diese verblendet. Ein Bearbeiten der Kroneninnenseite oder des Randbereiches sollte mit feinkörnigen Diamantschleifkörpern erfolgen. Zur Vermeidung von Mikrorissen wird

empfohlen, die Keramik nur hochoberflächlich mit permanenter Wasserkühlung zu bearbeiten.

Die Verblendung erfolgt mit einer speziell für die PROCERA AllCeram Technik entwickelten Verblendkeramik, welche mit ihrem thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf die Aluminiumoxidkeramik abgestimmt ist (WAK $7 \times 10^{-6} \mu\text{m/mK}$) [4] [72].

Nach dem abschließenden Brand empfiehlt sich eine mechanische Politur mit einer Diamantpolierpaste.

Die Brenntemperaturen und -zeiten sind in Tab.3.3 aufgelistet:

Tab.3.3 Brenn- und Temperaturführung					
Vacumat100/200	Endtemp.	Vortrockenzeit	Aufheizzeit	Haltezeit	Vak.-zeit
Linerbrand	930 °C	6	6	1	6
Dentinbrand 1	915 °C	8	6	1	6
Dentinbrand 2	910 °C	7	6	1	6
Glanzbrand	900 °C	5	6	1-3	-
Aufbaumasse	1050 °C	8	6	1	6
Korrektur	840 °C	5	6	1	6

3.8 Zementierung

Vor der definitiven Eingliederung erfolgt die Passgenauigkeitsuntersuchung. Das Zementieren der fertigen Restauration wird standardisiert durchgeführt.

Die Restorationsinnenseite wird mit Aluminiumoxid (Korund, Korngröße 50 μm) abgestrahlt. Nach der Entfernung der provisorischen Versorgung wird der Zahnstumpf sorgfältig von Resten des provisorischen Zementes befreit. Es erfolgt eine relative Trockenlegung des Arbeitsfeldes mit Watterollen und Speichelsauger. Bei Zähnen mit einer subgingivalen Präparationsgrenze wird ein ungetränkter Retraktionsfaden gelegt. Es folgt die Reinigung des Zahnes mit 2%iger Chlorhexidin-Lösung und ein Entfetten der Krone mit 96%igem Alkohol. Der Zahnstumpf wird vorsichtig trockengeblasen, ein exzessives Trocknen ist zu vermeiden. Die Innenseite der Krone wird dünn mit Zement (Ketac-Cem, 3M ESPE) ausgestrichen. Die Krone wird auf den Stumpf

aufgebracht und mit allmählich steigendem manuellen Druck bis nahe an die Endposition gedrückt.

Es wird die schallunterstützte Zementierung mit einem Sono-Cem-Aufsatz (Sirona, Bensheim) für das stuhlseitige Zahnsteinentfernungsgerät angewandt. Die schallgekoppelte Energieübertragung setzt die Viskosität des zähflüssigen Zementes durch den thixotropen Effekt während der Aktivierung herab. Nach dem Erreichen des endgültigen Sitzes wird die Krone in dieser Position durch das manuelle Festhalten des Behandlers oder das Zubeißen auf eine Watterolle fixiert. Der Retraktionsfaden und die Zementüberschüsse werden mit einem Scaler und Zahnseide restlos entfernt. Abschließend erfolgt die Kontrolle der statischen und dynamischen Okklusion (Abb.3.13).



Abb.3.13 Abschlussbefund
Eingegliederte PROCERA AllCeram-Restaurationen

3.9 Passgenauigkeitsuntersuchung

Die Durchführung der Unterschichtung am Patienten erfolgt unmittelbar vor dem definitiven Eingliedern der Restauration.

Die Kronen werden mittels Unterschichtung auf den Zahnstümpfen auf ihren Sitz hin überprüft. Wenn die Passung durch korrigierende Maßnahmen an Rand oder Lumen der Kronen nicht mehr verbessert werden kann, wird die zu vermessende Unterschichtung abschließend durchgeführt. Das Kronenlumen

wird zu einem Drittel mit der dünnfließenden Phase des Abformmaterials Provil L.C.D. gefüllt und auf den Stumpf gesetzt. Es wird eine Kraft von ca. 20 N zentral auf die Krone appliziert. Nach dem vollständigen Aushärten des Silikons löst man die Krone vorsichtig vom Stumpf, ohne dass sich die Unterschichtung aus der Krone löst. Es sollte idealerweise Abformmaterial über den Rand hinaus gepresst werden, um den Kronenrand vollständig zu erfassen. Das visköse Zweitmaterial Provil M.C.D. kann nun von der Tiefe des Lumens aus in die Kronen appliziert werden. Man benötigt nur so viel Material, dass die interne Silikonschicht vollständig umspritzt ist.

Die so gewonnenen Unterschichtungen werden im Desinfektionsbad (Impresept, 3M ESPE) für 10 Minuten belassen, anschließend mit Wasser abgespült und getrocknet.

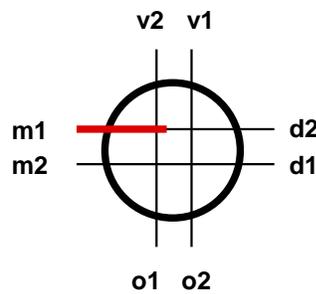


Abb.3.14 Schnittmodus

Für das Vermessen der Unterschichtungen unter einem Lichtmikroskop werden diese mit einem Einmalskalpell geschnitten.

Um bei den Randspaltnmessungen vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen alle Unterschichtungen an den identischen Positionen geschnitten werden. Diese Punkte liegen definitionsgemäß mesial, vestibulär, distal und oral (Abb.3.14).

3.10 Bestimmung der Messpunkte

Um die Passung der Krone auf dem Zahnstumpf zu erfassen, wurden die Messpunkte wie folgt definiert:

Der Messpunkt Nr. 1 entspricht der marginalen Diskrepanz (*external marginal gap*). Der einen Kreisabschnitt bildende Bereich der Hohlkehle wird in vier gleichgroße Abschnitte unterteilt. Die jeweils nach zervikal liegende Begrenzung ergibt einen Messpunkt. Hierdurch werden die Messpunkte Nr. 2 bis 5 definiert. Messpunkt 5 gibt den obersten Punkt der Hohlkehle an. Diese stellen die Passung im Bereich der Hohlkehle dar. Messpunkt Nr. 6 liegt auf halber Stumpfhöhe, Nr. 7 an der Höckerspitze eines Seitenzahnes bzw. am Übergang Inzisalkante-vestibuläre Fläche eines Frontzahnes (Abb.3.15).

Die Vermessung der Unterschichtung im Bereich der Präparationsgrenze erfolgt in Anlehnung an HOLMES (*marginal gap*) [40].

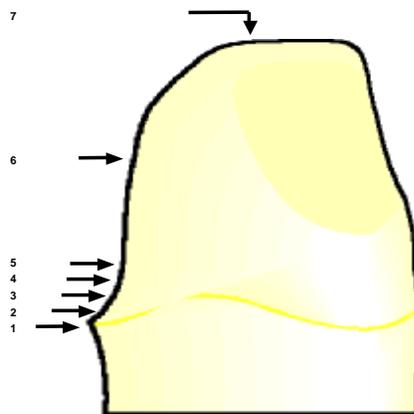


Abb.3.15 Definition der Messpunkte an einem Frontzahn

Es wird die kürzeste, senkrechte Distanz gemessen, vom äußeren Kronenrand zum präparierten Stumpf an den Kantenpunkt des Kronenrandes, der die geringste Entfernung zur gegenüberliegenden Oberfläche des Stumpfes besitzt. Es wird weder eine Über- noch eine Unterkonturierung der Restauration berücksichtigt.

Messpunkt Nr. 8 liegt im Bereich des okklusalen Plateaus von Prämolaren und Molaren (Abb.3.16). Dieser Punkt stellt nicht die Zentralfissur dar, er liegt ca. 2-3 mm medial des Messpunktes Nr. 7. Die zentrale Fissur wird durch die Geometrie der Abtastspitze (Durchmesser 5 mm) nicht präzise genug erfasst.

Tiefe Präparationseinschnitte auf dem okklusalen Plateau werden vor dem Abtasten im Labor ausgeblockt.

Pro Zahn werden so acht Längs- und Querschnitte mit jeweils sieben (Frontzahn) bis acht Messpunkten (Seitenzahn) vermessen. Das entspricht bis zu 64 Messpunkten pro Zahn, davon liegen acht Punkte unmittelbar im Randbereich.

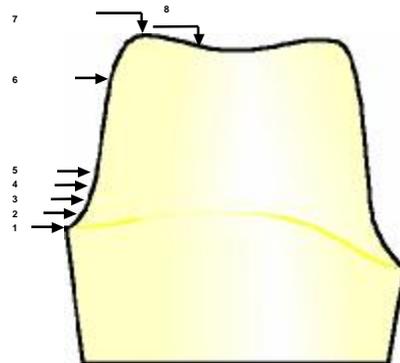


Abb.3.16 Definition der Messpunkte an einem Seitenzahn

3.11 Ausprägung der Hohlkehle

Die Präparation wird visuell in die unterschiedlich ausgeprägten Formen einer Hohlkehle eingeteilt. Es wird in eine **flache** Hohlkehle (Grad 1), **leichte** Hohlkehle (Grad 2), **deutliche** Hohlkehle (Grad 3) sowie **stark ausgeprägte** Hohlkehle (Grad 4) unterteilt. Zusätzlich wird eine **tangentiale** und eine **stufenförmige Präparationsform** betrachtet (Abb.3.17.a-f)

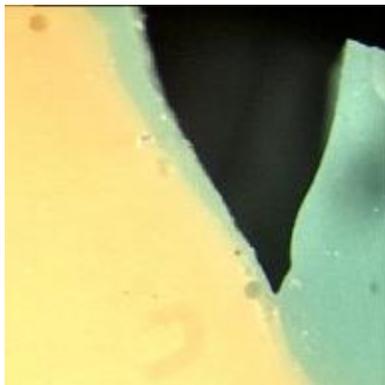
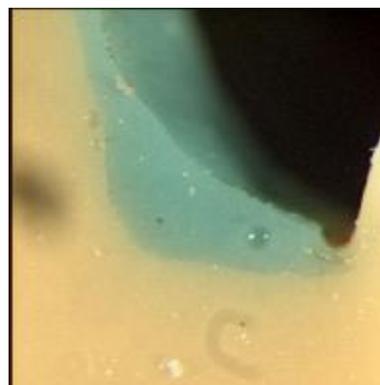


Abb.3.17.a Tangential



3.17.b Stufe

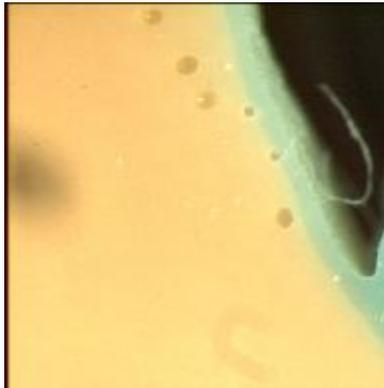
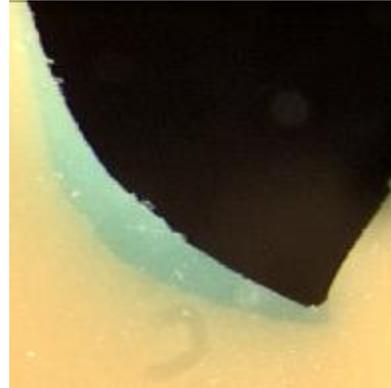


Abb.3.17.c flache Hohlkehle



3.17.d leichte Hohlkehle

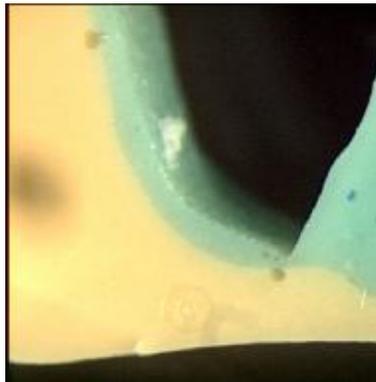
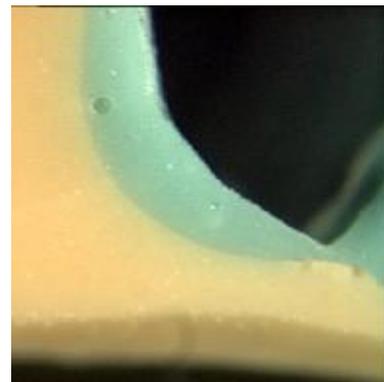


Abb.3.17.e deutliche Hohlkehle

3.17.f stark ausgeprägte
Hohlkehle

Die Einteilung in unterschiedliche Grade einer Hohlkehle erweist sich als schwierig, da es sich um fließende Übergänge handelt.

3.12 Kalibrierung

3.12.1 Kalibrierung der Mess-Apparatur

Eine geeichte Messskalierung (Leitz, Wetzlar) wird als Kalibriermaß mit der messanalytischen Software vermessen, und für die Vergrößerung der entsprechende Kalibrierfaktor ermittelt.

3.12.2 Kalibrierung der Silikonvermessung

Die Kalibrierung der Passgenauigkeitsuntersuchung erfolgt durch das Vermessen einer genau definierten Silikonschicht. Hierfür wird der Spalt zwischen zwei planparallelen Metallplatten, der durch exakt vermessene Unterlegscheiben (Dicke 100 μm) genau definiert ist, mit der beschriebenen Silikontechnik dargestellt und im Lichtmikroskop quantitativ erfasst. Die Vermessung der Unterschichtung erfolgt mit der beschriebenen Mess-Apparatur. Die Unterschichtungen werden auf einem Objektträger fixiert und senkrecht zur Oberfläche vermessen.

Es werden insgesamt zehn Unterschichtungen mit der oben beschriebenen Methode angefertigt und an zehn verschiedenen Messpunkten vermessen.

3.13 Durchführung der Messung

Die Vermessung der Unterschichtungen erfolgt mit einem Stereo-Lichtmikroskop Stemi SV 11 (Zeiss, Oberkochen).

Als Lichtquelle dient eine Kaltlichtlampe mit zwei flexiblen Lichtleitern, zudem kommt eine weitere Lichtquelle zur basalen Beleuchtung zum Einsatz. Das Positionieren erfolgt auf einem Objektträger auf dem Durchlichttisch.

Auf dem Kamerastativ des Mikroskops ist nach einem Strahlenteiler eine Videokamera installiert, welche die RGB-Bilder auf einen Monitor überträgt. Mit der messtechnischen Systemsoftware Image C (Imtronic, Berlin) können Messstrecken direkt am Bildschirm festgelegt und abgelesen werden.

Die Vergrößerung ergibt sich durch die Multiplikation der Einzelvergrößerungen des Okulars (2.5 X), dem Zoomobjektiv (4.0 X bis 6.6 X) und dem optischem Kamerastativ (0,66 X). Die rein optische Vergrößerung beträgt somit 6.6 bis 11-fach.

Das RGB-Videobild wird auf einem 17-Zoll-Monitor abgebildet.

Die Auflösung des Bildschirms beträgt 512 x 512 Pixel, hierbei entspricht 1 Pixel 1,57 μm .

Die Übertragung der rein optischen Abbildung auf den Monitor entspricht einer 4-fachen digitalen Vergrößerung. Eine geeichte Messstrecke von 500 μm

entspricht 12,7 cm auf dem Monitor-Bildschirm. Die Gesamtvergrößerung errechnet sich aus Multiplikation der optischen und digitalen Vergrößerung.

Hieraus resultiert ein 40-facher Gesamtvergrößerungsfaktor.

Ein weiterer Vorteil dieser Messapparatur stellt die Durchlichtvorrichtung mit Hell-Dunkelfeld dar. Mit der basalen Beleuchtung und dem Kontrastregler lassen sich die Grenzflächen und Schnittkanten präzise darstellen.

3.14 Statistische Auswertung der Kalibrierung

Eine Überprüfung auf Normalverteilung mit dem *Kolmogoroff-Smirnoff-Anpassungstest* führte bei keiner der Messreihen zu einer Ablehnung der parametrischen Verteilungsform.

Die statistische Prüfung der Kalibrierung erfolgte anhand des F- und T-Tests und des *Wilcoxon*-Tests. Statistisch signifikante Unterschiede wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ festgelegt.

Ein Zusammenhang zwischen den erhaltenen Werten und der effektiven Spaltbreite konnte durch eine lineare Korrelation angenähert werden. Der relative Methodenfehler (Variationskoeffizient) bezogen auf den Mittelwert der Einzelmessungen betrug 10%.

3.15 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Die Überprüfung der Messreihen auf Normalverteilung mit dem *Kolmogoroff-Smirnoff-Anpassungstest* in den *Liliefors*-Schranken ergab eine Ablehnung dieser Verteilungsform in einigen Messreihen. Die rein parametrische Beschreibung mit Mittelwerten (T-Test) und Varianzen (F-Test) ist daher abzulehnen.

Im folgenden wurden **nicht-parametrische** statistische Tests angewandt.

Die analytische Überprüfung der Ergebnisse wurde mit dem paarweisen H-Test nach *Kruskal-Wallis* und dem U-Test nach *Man-Whitney* (unter Berücksichtigung der alpha-Korrektur nach *Holm*) durchgeführt. Diese berücksichtigt die erhöhte Irrtumswahrscheinlichkeit paarweiser Vergleiche.

Statistisch signifikante Unterschiede wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ festgelegt.

Die Korrelation wurde mit der *Spearman* -Rangkorrelation für nicht-normalverteilte Reihen durchgeführt.

Die statistische Überprüfung (*Man Withey; U-Test*) zwischen den Front- und Seitenzähnen am Messpunkt 1 zeigt zum Teil höchst signifikante Unterschiede für die jeweiligen Messlokalisationen. Bei einer weiteren Betrachtung **unter Berücksichtigung der Präparationsform** wurden keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt.

Die Passung im Randbereich am Messpunkt 1 (*external marginal gap*) wurde mit der Zementspaltbreite an dem Messpunkten 6, 7, und 8 (*internal marginal gap*) verglichen. Dabei wurde die jeweilige Präparationsform im Bereich der Hohlkehle berücksichtigt.

Es wurden folgende Wertepaare auf eine Korrelation überprüft:

Messpunkt. 1 (Präp)Ö Messpunkt. 6	(für alle Front- und Seitenzähne)
Messpunkt. 1 (Präp)Ö Messpunkt. 7	(für alle Front- und Seitenzähne)
Messpunkt. 1 (Präp)Ö Messpunkt. 8	(für alle Seitenzähne)

Es lassen sich **keine** zuverlässigen Korrelationen zwischen der *external marginal gap* und der *internal marginal gap* für Front- und Seitenzähne finden, unter Berücksichtigung der jeweiligen Präparationsform.