

Die unterschiedliche Gestaltung der Präparationsgrenze
und deren Einfluss auf die Randschlussgenauigkeit von
hochgoldhaltigen Vollgussrestorationen.

- eine in vivo - Untersuchung -

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus – Liebig – Universität Gießen

vorgelegt von Thomas Blößer
aus Kassel

Gießen 2000

Abteilung Zahnärztliche Prothetik

Leiter: Professor Dr. P. Ferger

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. Dr. H.F. Herget

Tag der Disputation: 18. Dezember 2000

Meiner wunderbaren Frau
und meinem kleinen Sonnenschein
Davina (2 Jahre)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Literaturübersicht	5
2.1	Konnotation des Randschlusses	5
2.2	Forderungen an den Randschluss gegossener Restaurationen	5
2.3	Nachuntersuchungen an extrahierten Zähnen	7
2.4	Möglichkeiten zur Messung und Beurteilung des Randspalts	8
2.5	Präparation	10
2.5.1	Pulpenschädigung	10
2.5.2	Parodontale Irritationen	12
2.5.3	Kariesprophylaxe	13
2.5.4	Ästhetik	14
2.5.5	Mechanik	14
2.5.6	Präparationsarten	16
2.6	Abformmaterialien	18
2.6.1	Silikone	18
2.6.2	Polyether	21
2.6.3	Polysulfide	22
2.7	Formverhalten	23
2.8	Abformmethoden	25
2.8.1	Doppelmischabformung	25
2.8.2	Sandwichabformung	26
2.8.3	Einphasenabformung	26
2.8.4	Korrekturabformung	27
2.8.5	Ergänzungsabformung	29
2.8.6	Segmentabformung	30
3.	Ziel der Arbeit	31
4.	Material und Methode	32
4.1	Auswahl der Zähne	32

4.2 Präparation der Zähne	34
4.2.1 Stufenpräparation rechtwinklig	35
4.2.2 Stufenpräparation mit Abschrägung 45°	37
4.2.3 Hohlkehlpäparation	39
4.3 Abformmethode und Materialien	41
4.4 Modellherstellung	43
4.5 Wachsmodellation und zahntechnischer Guss	44
4.6 Messung der Randspaltbreite	47
4.7 Graphische Darstellung und statistische Auswertung	49
5. Ergebnisse	50
5.1 Absolute Häufigkeit der Messwerte	50
5.2 Präparationsverfahren im direkten Vergleich	53
5.3 Ergebnisse differenziert nach Lokalisation der Messstelle	56
5.4 Ergebnisse in Abhängigkeit der verwendeten Abformmaterialien	58
6. Diskussion	62
6.1 Diskussion der Ergebnisse aus dem Vergleich der Präparationsverfahren	61
6.2 Diskussion der Ergebnisse aus dem Vergleich der Abformmaterialien	64
6.3 Diskussion der Versuchsmethode	66
7. Zusammenfassung	70
8. Literaturverzeichnis	72
9. Messwerttabellen	83
10. Danksagung	86
11. Lebenslauf	87

1. Einleitung

Der Herstellungsprozess einer gegossenen Restauration in der Zahnheilkunde durchläuft eine Vielzahl von Arbeitsschritten. Angefangen bei der richtigen Indikationsstellung, über die Präparation der Zahnhartsubstanz des entsprechenden Zahnes mit rotierenden Instrumenten, dem Transfer der intraoralen Situation mit Hilfe der Abformung bis hin zu dem definitiven Befestigen der fertiggestellt und ausgearbeiteten Krone im Mund des Patienten. Ein Maß für die Qualität eines so entstandenen Produkts ist unter anderem dessen Passgenauigkeit auf dem präparierten Zahn. Die Kongruenz von Gussstück und dazugehörigem Zahn lässt sich numerisch bei der Ermittlung der Randspaltbreite erfassen.

Die Frage nach der erlaubten maximalen Randspaltbreite findet in der zahnärztlichen Wissenschaft eine unterschiedliche Beantwortung. In zahlreichen in-vitro Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass es mit den heute zur Verfügung stehenden Werkstoffen und technischen Verfahrensweisen möglich ist, Gussstücke herzustellen deren Randschlussgenauigkeit im Bereich um 50 Mikrometer liegt. Retrospektive Studien an extrahierten mit gegossenen Restaurationen versorgten Zähnen ergaben durchschnittlich größere Randspaltbreiten, Werte bis zu 400 Mikrometer und größer wurden gemessen.

Die bisher zu dieser Thematik veröffentlichten Arbeiten werfen einige Fragen bezüglich der Ursachen für die festgestellten Diskrepanzen auf. Allein der Werkstoffkette bei der Herstellung definitiver Restaurationen als solcher können so erhebliche Inkongruenzen nicht angelastet werden, denn sonst dürften bei in-vitro Untersuchungen keine derartigen Resultate erreichbar und in der Serie verifizierbar sein.

Tatsache ist, dass in der veröffentlichten Fachliteratur zu dieser Thematik klinische Studien fast ausschließlich retrospektiven Charakters sind. Inhalt und Ergebnisse bezüglich der Randschlussgenauigkeit dieser Untersuchungen erlauben keinen Rückschluss auf angewandte klinische Methodik verwendete Materialien und Verfahrensweisen.

Da die werkstoffkundlichen Standards, wie oben dargelegt, nicht ohne weiteres in den Praxisalltag zu übertragen sind, ist zu vermuten, dass klinisch relevante Faktoren das theoretisch Mögliche negativieren.

Es soll daher mithilfe der vorliegenden In-vivo-Studie der Versuch unternommen werden anerkannte und bewährte Materialien und Methoden werkstoffkundlichen Ursprungs zu verbinden mit klinischen bzw. praxisrelevanten Faktoren um eine ganzheitliche Bewertung zu ermöglichen.

Wie bereits eingangs geschildert, ist ein qualitatives Merkmal zur Beurteilung von Kronen- und Brückenersatz deren Passgenauigkeit, dieser liegt die Korrelation von Kronenrand und Präparationsgrenze zugrunde, denn sie liefert die erhobenen Messwerte. Hieraus wird deutlich, wie eng die Beziehung beider Variablen zueinander ist. Da die Ausgestaltung der Präparationsgrenze dem Zahnarzt obliegt, stellt sich die Frage, inwieweit er durch die Anwendung unterschiedlicher Präparationsverfahren und Abformmaterialien (in vivo) Einfluß auf die Qualität des Ergebnisses, sprich die Randspaltbreite, nehmen kann.

2. Literaturübersicht

2.1 Konnotation des Randschlusses

Der Erfolg einer prothetischen Versorgung mit Kronen oder festsitzendem Brückenersatz ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Hauptursache für das Versagen von festsitzenden gegossenen Restaurationen sind neben Fehlern in der Okklusion vor allem parodontale Schädigungen und Sekundärkaries. Aus diesem Grund ist bei einer künstlichen Krone ein möglichst spaltfreier Übergang von der Krone zum Zahn anzustreben. Die Passgenauigkeit von Kronen und der erzielbare Randschluss werden daher immer von besonderem Interesse sein [HAAS, WEGSCHNEIDER und BRATSCHKO 1988].

Ein mangelhafter Randschluß ist nach SCHWINDLIG [1971] und GEURTSSEN [1990] die häufigste Ursache von pathologischen Reaktionen an überkronten Zähnen. Die Passgenauigkeit des eingegliederten Zahnersatzes ist daher von großer Bedeutung für den Erfolg oder Misserfolg einer prothetischen Arbeit.

Das Maß für die biologische Akzeptanz und die langfristige Funktionstüchtigkeit einer Krone oder Brücke ist die Randspaltbreite zwischen Kronenrand und präpariertem Zahn [BIFFAR 1991].

2.2 Forderung an den Randschluss einer gegossenen Restauration

Der Kronenrandschluss in der zahnärztlichen Prothetik wird definiert als das enge Anliegen, bzw. der möglichst nahtlose Übergang des Kronenrandes in die angrenzende Schmelz- oder Zementgrenze der Präparation.

Die Bedeutung von *Rand-Schluss* ist Passgenauigkeit, derart, dass kein sichtbarer oder tastbarer Zwischenraum vorhanden sein darf. Liegt eine Inkongruenz vor, so kann man nicht von einem *Schluss* sprechen. Demnach gibt es entweder einen (vorhandenen) *Randschluss* oder keinen Randschluss, sondern einen *Randspalt* [REHBERG 1971].

In der zahnärztlichen Fachliteratur findet man unterschiedliche Anforderungen an das Ausmaß der Randschlussgenauigkeit bzw. deren klinisch zulässige Grenzen. Die im Folgenden angeführten Ergebnisse sind Größenangaben basierend auf rein laborgestützten Untersuchungen.

Hinsichtlich der Randschlussgenauigkeit gegossener Restaurationen stehen nach wie vor die ursprünglich von DREYER-JORGENSEN [1958] geforderten 50 µm maximale Passgenauigkeit im Raum.

REHBERG [1971] postuliert einen 20 µm großen Randspalt zwischen Zahnstumpf und Gussobjekt als exakten Randschluss. Orientiert an der Korngrösse der zum definitiven Einsetzen benötigten Zemente, die im Mittel 10 – 20 µm nicht übersteigt, ist ein kleinerer Randspalt kaum erstrebenswert, da es sonst zu Interferenzen für den exakten Sitz der Restauration auf dem Kronenstumpf kommen würde.

WINDECKER und OHLE [1971] ermittelten in einem Modellversuch maximale Spaltbreiten von 0 – 70 µm bei Vollgusskronen.

DEMMELE [1971] erreichte bei Messungen der zervikalen Diskrepanz zwischen den mit Zement eingesetzten Kronen und dem Stahlstumpf im Randbereich Werte zwischen 19 und 47 µm.

Messungen von LEHMANN und KRAUTH [1984] belegen einen Mittelwert der Randspaltbreiten von 42 µm.

Andererseits hat MEINERS [1985] bereits darauf hingewiesen, dass allein aufgrund der unausweichlichen material- und verfahrensbedingten Fehler trotz sorgfältigster Arbeitsweise es sogar theoretisch kaum möglich sein dürfte, eine maximale Randschlussgenauigkeit von 50 µm in der Serie zu erreichen.

Diese Werte liegen weit unterhalb der von MARXKORS [1988] als klinisch akzeptabel angesehenen Randschlussgenauigkeit von maximal 200 µm.

2.3 Nachuntersuchungen an extrahierten Zähnen

Betrachtet man auf der anderen Seite Untersuchungen zur Randschlussgenauigkeit, die am Patienten realisiert wurden, so ist klar erkennbar, dass werkstoffkundlicher Standart in der Praxis nicht immer umgesetzt wird.

[WÖSTMANN 1996]

ERDMANN untersuchte 1972 den zervikalen Randschluss von Band-Hülsenkronen an extrahierten überkronten Schneide- und Eckzähnen und fand einen Mittelwert von 260 μm .

MARXKORS [1980] ermittelte bei einer zufälligen Auswahl von über 100 extrahierten Zähnen die mit Gusskronen versehen waren eine mittlere Randspaltbreite von 130 μm . Ebenfalls zeigte sich, dass der Randschluss bei Zähnen mit erkennbarer Präparationsgrenze deutlich besser war, als der von Zähnen die mit einer Tangentialpräparation präpariert wurden.

In der von DÜSTERHUS [1980] durchgeführten Studie an über 100 extrahierten, mit Gusskronen versehenen Zähnen, lagen die Mittelwerte zwischen 90 und 230 μm , je nach der Lage des Messortes am Kronenrand.

SPIEKERMANN [1986] errechnete einen Mittelwert für die ausgemessenen Zementspaltbreiten an insgesamt 142 eingegliederten Kronen von 382 μm .

DONATH und ROTH [1987] wiederum bedienten sich einer histomorphometrischen Untersuchung. Bei 115 in situ belassenen Kronen und Brückenpfeilern wurde der Abstand des zervikalen Kronenrandes zur Präparationsgrenze vermessen. Die mittlere vertikale Abweichung betrug hier 482 μm .

2.4 Möglichkeiten zur Messung und Beurteilung des Randspalts

Die Messung der Randspalten ist nach wie vor mit erheblichen mess- und verfahrenstechnischen Schwierigkeiten behaftet. Als Definition der Spaltbreitenmessung hat sich heute der Vorschlag von HOLMES [1998] und DEMMEL [1971] durchgesetzt, die als *zervikale Diskrepanz* den Abstand von Kronenrand und Präparationsgrenze und als *Randspalt* den Abstand von Kroneninnenkante zum Zahnstumpf benennen.

Möglichkeiten zur Beurteilung des Randspalts:

1. Klinisch-visuelle Beurteilung
2. Messung mittels Sonde
3. Röntgenologische Untersuchung
4. Replikamethode
5. Indirekte Messung mittels Silikonfilm
6. Messmikroskop

Bei der **klinisch-visuellen Beurteilung** mittels Auge und Sonde lässt sich nach REHBERG [1971] ein Spalt noch unter 20 µm nachweisen. Größere Spalten können jedoch nicht genau eingegrenzt und beurteilt werden. Außerdem ist die Überprüfung am Patienten stark abhängig von der Einsehbarkeit der Messstelle sowie der Möglichkeit, diese zu sondieren [MARXKORS ,

Mit normierten Sonden, deren Spitzen unterschiedlich kalibriert sind, kann man mit einem Sondentest nach Marxkors (**Messung mittels Sonde**) den Randschluss prüfen. Die Messsonden zur Erfassung von Füllungs- und Kronenrandfugen sind dabei in 100 µm-Schritte eingeteilt. Der größte Sonden-durchmesser beträgt 0,5 mm und weist auf grobe Ungenauigkeiten hin. Bei überextendierten Kronenrändern ist eine Fehlinterpretation der Randschluss-genauigkeit möglich [REHBERG , 1971].

Der Vorteil dieser klinischen Messung liegt darin, dass sie relativ schnell und einfach durchzuführen ist. Als nachteilig zu betrachten sind die grobe Abstufung, die Problematik einer Messung bei tiefen infragingivalen Präparationen und die Abhängigkeit vom Tastempfinden des Behandlers.

Eine Überprüfung **mittels röntgenologischer Untersuchung** ermöglicht nur eine eingeschränkte Beurteilung des gesamten Kronenrandes, da ausschließlich die approximalen Kronenränder projiziert werden, und diese verfahrensbedingt nicht exakt wiedergegeben werden [ERDMANN 1972] [WICHMANN , BORCHERS 1992].

Die Replikamethode bedient sich einer indirekten Messung am Modell. Bei dieser Messtechnik wird die eingesetzte Krone im Mund des Patienten abgeformt. Aus der erhaltenen Abformung wird nach dem Gipsausguss ein Modell erstellt. An dem so erhaltenen Modell vom Zahnstumpf mit eingesetzter Krone, Teilkrone oder Inlay wird schließlich extraoral die Randspaltgenauigkeit geprüft [UHLIG 1998].

Die **indirekte Silikonfilmmessung** bietet eine andere Möglichkeit die Randspaltbreite zu ermitteln. Hierbei wird die Krone mit einer sehr dünnfließenden Silikonabformmasse auf den präparierten Zahn aufgesetzt, wobei die Korrekturmasse in Spalten bis auf wenige Mikrometer ausgepresst wird. Der erstarrte Silikonfilm lässt sich nach Entfernen der Krone im Ganzen abnehmen und sowohl optisch als auch mechanisch an jeder Stelle ausmessen. Von Vorteil ist hierbei, dass man eine Übersicht über die gesamte Randsituation erhält. Klinisch wird diese Methode bevorzugt in Situationen angewandt, in denen eine Fehlpassung an einer bestimmten Stelle sichtbar gemacht werden soll. Die Silikonschrumpfung ist hierbei vernachlässigbar klein [LEHMANN 1987].

Mit dem **Messmikroskop** kann extraoral quantitativ jeder Bereich der Gusskrone vermessen werden. Man kann die Genauigkeit des Randschlusses der Krone nur in Beziehung zum Kronenstumpf beurteilen. Praktisch hat dies die Konsequenz, dass die Messung auf dem extrahierten Zahn zu erfolgen hat, da eine Messung im Mund des Patienten nicht möglich ist. Bei überkonturierten Kronenrändern kann die absolute marginale Diskrepanz mitunter nur am geschnittenen Zahn exakt ermittelt werden, was jedoch die Anzahl der Messstellen einschränkt [WÖSTMANN , HUFNAGEL 1997].

Voraussetzung für die Passgenauigkeit von prothetischen Restaurationen ist eine klar definierte Präparationsgrenze, die im Mund des Patienten bei geeignetem methodischen Vorgehen während der Präparation von Zahnhartsubstanz in der Mehrzahl der Fälle möglich ist [SASSEN 1978].

2.5 Präparation

Zahnersatz und Restaurationen jeder Art sind Heilmittel, sind also als Medikamente anzusehen, von denen jedes bekanntlich Nebenwirkungen hat. Diese Nebenwirkungen so gering wie möglich zu halten, vor allem die Schädigung des noch Gesunden zu vermeiden, muss Richtschnur unseres therapeutischen Handelns sein [MARXKORS 1988].

Innerhalb zahnärztlich-prothetischer Maßnahmen stellt die Präparation von Zähnen auf dem Weg von der Befunderhebung über die Diagnose zum Therapieplan und von hier über die Vorbehandlung bis hin zur fertigen Restauration nur einen den Behandlungserfolg insgesamt bestimmenden Faktor dar. Man sollte sich jedoch darüber im Klaren sein, dass kaum ein anderer zahnärztlicher Behandlungsschritt, obwohl als Heilmaßnahme gedacht, so versteckt und schleichend negative Auswirkungen haben kann.

2.5.1 Pulpenschädigung

Die Schädigung der Pulpa während der Zahnpräparation hat insbesondere seit Einführung der Turbinen im Jahre 1957 und später durch die Anwendung von mit Mikromotoren angetriebenen, schnell laufenden Winkelstücken an Bedeutung gewonnen. Bei diesen neuen Präparationsverfahren musste einer möglichen thermischen Traumatisierung der Pulpa Beachtung geschenkt werden [EICHNER 1966/1982 , HARNDT 1984].

Hauptsächlich die Drehzahl, der Anpressdruck, das Ausmaß der Kühlung sowie die lokalisierte Verweildauer des rotierenden Präparationsinstruments an der Zahnoberfläche spielen eine wichtige Rolle im Hinblick auf die Vitalerhaltung der Pulpa. Falsches Vorgehen induziert nach Messungen von HOFMANN [1961] , LANGELAND [1965] und ZACH [1965] Temperaturspitzen von 400 – 600° C. Gemessen wurden sogar Werte bis 900° C.

In diesem Zusammenhang ist sicherlich auch die Schichtstärke zwischen präparierter Zahnoberfläche und Zahnpulpa von Interesse. Sie stellt eine beeinflussende Größe für die Vitalität der Pulpa dar. Untersuchungen von NENTWIG und EIFINGER [1981] zufolge ist bei einer verbleibenden Schichtstärke von 1,5 mm die vita des Nerv- Gefäßbündels bedroht. Als besondere Problemzonen werden die Approximalräume und Vestibulärflächen unterer Inzisiven benannt.

Selbst bei dem Verbleib einer ausreichenden Substanzstärke zwischen rotierendem Instrument und Pulpa kann letztlich deren Vitalität gefährdet sein. Nach Studien von KLÖTZER [1984] wird bei Präparationen, die bis in das Dentin reichen, in einer Größenordnung von 20 – 40 % der Fläche lebende Substanz angeschnitten. Im Bereich der Dentinkanälchen werden durch lokale Überhitzung lebende Zahnbestandteile denaturiert. Der sich daran anschließende Einstrom von Gewebszerfallprodukten in die Pulpa kann zu langfristigen Schädigungen führen.

Klinisch manifestieren sich die Vitalität gefährdende Präparationstraumata als spontan auftretende Schmerzzustände, pulpitisches Beschwerden ohne jeden erkennbaren äußeren Reiz, Pulpenhämatome und Dentinverfärbungen.

2.5.2 Parodontale Irritationen

Die Schädigung des Parodonts ist ursächlich begründet in der Lokalisation der Präparationsgrenze. Man unterscheidet prinzipiell zwei Arten.

Die supragingival verlaufende Präparationsgrenze ist nach allen Aussagen in der Parodontologie, die sich auf die Lage des Restaurationsrandes und seinen möglichen Einfluss auf die parodontale Gesundheit beziehen, diejenige, die keine negativen, d.h. Parodontopathien initiierende oder stützende bzw. verstärkende Wirkung besitzt [LÖE 1968] [NEWCOMB 1974] [SILNESS 1970] [STRUB 1978].

Ein Grund hierfür ist im Wesentlichen darin zu sehen, dass bereits bei der Präparation und Abformung besser und risikoloser vorgefahren werden kann. Dem Zahnarzt und Zahntechniker wird die Gestaltung und Überprüfung erleichtert [BIFFAR , SASSEN 1983] [SASSEN 1981].

Außerdem werden durch die Lage der Präparationsgrenze weitere Noxen, wie z.B. Rauigkeiten und Porositäten am Kronenrand sowie immer vorhandene wenn auch nur wenige Mikrometer breite Zementspalten (!) vom marginalen Parodontium ferngehalten [CRISPIN , WATSON 1981].

Probleme bei der supragingivalen Lage der Präparationsgrenze treten einmal in ästhetisch sensiblen und einsehbaren Bereichen, bei einer hohen Kariesinzidenz des Gebisses, bei mangelhafter Mundhygiene sowie bei der Erzielung ausreichender Retention bei zu kurzen klinischen Kronen auf.
[GERNET , MITTELDORF 1984]

Die subgingival verlaufende Präparationsgrenze ist aufgrund oben angeführter Ursachen oftmals das Mittel der Wahl. Hierbei wird der zervikale Abschluß der Präparation in den Sulkus des marginalen Parodonts verlegt. Die empfohlene Eindringtiefe wird mit maximal 0,5 – 1 mm, gerechnet ab dem Gingivalsaum, angegeben.

Untersuchungen von WILSON und MAYNARD [1981] zufolge, sollte in diesem Bereich auf eine möglichst geringe Traumatisierung der Gewebe durch das Präparationsinstrument geachtet werden. Diese von vielen Zahnärzten meist unterschätzte Traumatisierung kann durch die Wahl eines entsprechend fein belegten diamantierten Präparationsinstruments, das in einem aufgrund seiner geringen Eigenschwingung zu bevorzugenden Mikromotorwinkelstück mit mittlerer oder hoher Tourenzahl eingespannt ist, vermieden werden. Außerdem werden glatte Zahnoberflächen geschaffen, die durch zusätzliches Anbringen von Abschrägungen möglichst schmale Zementspalten erzielen.

Auf einen der jeweiligen Versorgung entsprechenden adäquaten Platz im Randbereich ist zu achten. Dies gilt insbesondere für Verblendkronen, bei denen zu wenig Platz eine Überkonturierung der Restauration in diesem Bereich fast routinemäßig nach sich zieht. Die Schaffung eines kleinen Zementspalts sowie von genügend Platz für die jeweilige Restauration hat neben kariesprophylaktischen Gesichtspunkten auch noch werkstoffkundliche Bedeutung [FAUCHER , NICHOLLS 1980].

Sieht man einmal von den besonderen Präparationsformen ab, die für Restaurationen wie die glaskeramische, vollkeramische oder metallrandlose Krone zur Anwendung kommen, so ist in fast allen Fällen der Rand mit einer kleinen Abschrägung zu versehen [KUHNER , GAUSCH , FAVERO

2.5.3 Kariesprophylaxe

Kariesprophylaktische Aspekte, also Lage und Gestaltung der Präparationsgrenze, müssen bei der Präparation berücksichtigt werden, da bis heute noch kein Befestigungsmaterial entwickelt worden ist, das nach Eingliederung der Restauration in ihrem Randbereich zu einer Restitutio ad integrum führen würde. Dies würde eine chemische Bindung sowohl an die Zahnhartsubstanz, als auch an das alloplastische Material, sowie eine geringe Löslichkeit voraussetzen. Da ein solches Material noch nicht zur Verfügung steht, muss darauf geachtet werden, dass die Präparationsgrenzen bzw. Restaurationsränder einer guten mechanischen Reinigung zugänglich sind, soweit deren Rand supragingival zu liegen kommt.

Grundsätzlich gilt für alle Restaurationstypen die Forderung, den Zementspalt zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz so klein wie möglich zu halten [LANG 1979] [SCHWICKERATH 1979].

Mit Rücksicht auf die Erzielung kleiner Randspalten sollte die Zahnhartsubstanz im Bereich der Präparationsgrenze möglichst sorgfältig geglättet werden. Am besten geschieht dies mit Hartmetallfinierern oder weißen Edelkorundsteinchen, da Rauhig- oder Welligkeiten die Qualität eines Randschlusses durch die ungenügende Reproduktion dieser Oberflächenmorphologie bei der Restauration beeinträchtigen [WEGMANN 1985].

Zum anderen kann bei vielen Präparationsformen durch Anbringen einer Abschrägung aufgrund der geometrischen Zusammenhänge der spätere Spalt zwischen Krone und Zahnhartsubstanz verschmälert werden.

2.5.4 Ästhetik

Die bisher angesprochenen bei der Kronen- und Brückenpräparation zu berücksichtigenden parodontalbezogenen und kariesprophylaktischen Gesichtspunkte können in gewissem Gegensatz zu ästhetischen Aspekten der Präparation stehen. Dies gilt besonders für die einsehbaren Bereiche, wie die Oberkieferfront und die Oberkieferprämolarenregion, bedingt auch für die mesialen Anteile der ersten oberen Molaren. Alle möglichen ästhetischen Nachteile müssen genau mit dem Patienten besprochen werden. Gegebenenfalls müssen entsprechende Änderungen der geplanten Ausführungsform vorgenommen werden.

2.5.5 Mechanik

Zu bedenkende mechanische Gesichtspunkte bei der Präparation eines Zahnes beziehen sich auf die Schaffung einer ausreichenden Widerstandsform und einer ausreichenden Retentionsform. Erstere bezieht sich mehr auf die Präparationsgestaltung bei der Versorgung mit Einlagefüllungen und Teilkronen und kann deshalb hier außer Acht gelassen werden. Die Retention einer Krone wird beschrieben als Funktion der Größe der präparierten Zahnfläche, des Präparationswinkels und der Oberflächenrauigkeit unter der Voraussetzung, dass die physikalischen Eigenschaften des Befestigungszements als Konstante betrachtet werden [HUBER 1984].

Das Ausmaß der für die Präparation zur Verfügung stehenden Zahnfläche lässt sich nur bedingt vergrößern, denn sie steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der geplanten Restauration. Dennoch ist es in gewissem Umfang möglich, beispielsweise bei Teilkronen, klinisch sehr kurzen Zahnkronen oder alio loco präparierten konischen Zahnstümpfen, durch Anbringen zentraler und approximaler Kastenkavitäten oder Retentionsrillen, eine Oberflächenvergrößerung zu erzielen [ROMMEL 1981].

Die Größenangabe für den Präparationswinkel wird mit etwa 6° beziffert. Kleinere Präparationswinkel führen zu ungünstigen Abflussbedingungen für den Befestigungszement mit der Folge einer Passungengenauigkeit im endgültigen Sitz. Ist die Präparation zu konisch gestaltet, genügen oftmals geringe Abzugskräfte zum Lösen der Restauration [KIMMEL 1981].

Betrachtet man die Oberflächenmorphologie eines beschliffenen Zahnes, so sind Welligkeiten und Rauigkeiten zu unterscheiden. Während es sich bei den Welligkeiten um mit dem bloßen Auge sowohl am Zahnstumpf, vor allem aber auch später am Meistermodell, erkennbare Präparationserscheinungen handelt, die auf Schwingungen und Vibrationen des Schleifinstruments zurückzuführen sind, werden die ihnen überlagerten Rauigkeiten von der Oberfläche des jeweilig verwendeten Schleifinstruments erzeugt. Diese Rauigkeiten spielen, wie schon erwähnt, für die Retention einer Restauration eine sehr wichtige Rolle. Im Randbereich tragen sie entscheidend mit zur Qualität des Randschlusses bei, der wiederum, wie ebenfalls schon angeführt, im Hinblick auf die Vermeidung von kariösen Läsionen und Parodontopathien ein wesentlicher Faktor ist.

[LUTTERBERG , STIEFEL 1984] [PANTKE 1963]

Die niedrigsten Rauhtiefen von unter $5\ \mu\text{m}$ werden mit gewendelten Hartmetallfinieren oder kreuzverzahnten Bohrern erzielt. Vergleichbar glatte Oberflächen lassen sich mit Korundsteinchen (Arkansassteinchen) erzeugen. Am Schaft rot beringte Diamantfinierer hinterlassen eine Rauhtiefe von $10 - 15\ \mu\text{m}$. Das Arbeiten mit einem Diamantinstrument mittlerer oder grober Körnung erzeugt eine keinesfalls mehr zu akzeptierende Rauigkeit im Randbereich einer Präparation von $30 - 35\ \mu\text{m}$ [WEGMANN 1982].

Keinesfalls sollte der Kronenstumpf in seiner Gesamtheit im Sinne einer Oberflächenvergütung geglättet werden, denn hier ist im Gegensatz zur Präparationsgrenze eine gewisse Rauigkeit durchaus erwünscht, ja sogar unbedingt notwendig um die Haftwirkung des Zements zu ermöglichen.

2.5.6 Präparationsarten

Da sowohl bei der technischen Herstellung als auch bei der Eingliederung von Zahnersatzmaterial, konstruktionsspezifische Mängel bzw. Schwierigkeiten auftreten, müssen schon bei der Präparationsart werkstoffkundliche und konstruktionsrelevante Aspekte berücksichtigt werden. Damit ist eine Präparationsform gewährleistet, die dem jeweiligen Restaurationstyp und dem zur Verwendung angedachten Material gerecht wird. Dies erlaubt eine möglichst biologisch interferenzfreie Eingliederung des Zahnersatzes und hält unvermeidbare Schwächen auf einem möglichst geringen Niveau.

Allen bisherigen Ausführungen zur Folge ergeben sich für die Präparation eines Zahnes einige allgemein verbindliche, quasi obligatorische Forderungen. Ihnen gerecht zu werden sollte das Ziel einer jeden Behandlung sein, deren therapeutischer Ansatz die Versorgung mit restaurativem Zahnersatz ist.

- Die zervikale Präparationsgrenze muss erkennbar sein.
- Die Präparationsgrenze sollte möglichst so gelegt werden, dass sie einer Reinigung zugänglich ist.
- Die Form des Stumpfes muss in seiner Gesamtheit so beschaffen sein, dass die klinische Krone in ihrer Originalform wieder aufgebaut werden kann.
- Der vitale Zahn darf durch das Beschleifen keinen Schaden nehmen.

Zur Frage der Ausgestaltung einer Präparation ist die Meinung in der einschlägigen Literatur recht unterschiedlich. Einige Autoren propagieren ihren Studien entsprechend fest vorgefasste, sich jeweils nur an der beabsichtigten Restaurationskonstruktion orientierende Formvorgaben für die zervikale Ausgestaltung.

Die Klassifizierung von MARXKORS [1972] unterscheidet prinzipiell zwischen drei Präparationsformen.

- Die **schmale schräge Stufe** oder die **schmale Hohlkehle**. Diese beiden Präparationsarten stellen die Grundform für eine klar erkennbare Präparationsgrenze dar.
- Die **Tangentialpräparation** mit negativer Stufe. Diese ist nur im Bereich starker Überschnitte indiziert, weil sich dann eine erkennbar Grenze ergibt.
- Die **breite schräge Stufe** oder die **breite Hohlkehle** für Verblendungen im sichtbaren Bereich.

2.6 Abformmaterialien

Die Herstellung von feststehendem Zahnersatz erfolgt in einer Vielzahl zahnärztlicher und zahntechnischer Arbeitsschritte. Es ist daher nicht sinnvoll, einzelne Arbeitsphasen isoliert zu betrachten. Die Stufen des Gesamtablaufs sind vielmehr voneinander abhängig und müssen aufeinander abgestimmt sein. Die Abformung steht im Mittelpunkt der gesamten Arbeitsabläufe, denn ihr obliegt es als Mittler des Datentransfers zu fungieren. Die klinische Situation im Mund des Patienten wird aufgrund chemisch-physikalischer Spezifitäten fixiert und somit transportabel. Dem Zahntechniker wird es hierdurch ermöglicht alio loco, mithilfe der verschlüsselten Informationen eine Arbeitsgrundlage zu erstellen. Dass die hier geforderte Dimensionstreu sehr hoch sein muss, ist Grundvoraussetzung.

Im Folgenden werden die Abformmaterialien beleuchtet, die heutzutage als klinisch relevant für die Abformung präparierter Zähne gelten.

2.6.1 Silikone

Nach einer 1992 durchgeführten Umfrage bei 1014 befragten Zahnärzten werden zur Herstellung von Kronen im indirekten Verfahren als Abformmaterialien am häufigsten Silikone verwendet, von denen die kondensationsvernetzenden eindeutig bevorzugt werden [WÖSTMANN 1992].

Die herkömmlichen **kondensationsvernetzenden Silikone** (K-Silikone) vernetzen in einer Polykondensationsreaktion. Der Übergang in den gummielastischen Zustand erfolgt in drei prinzipiellen, gleichzeitigen und voneinander abhängigen Teilreaktionen [WELKER , MEHNER 1979].

Die Abformmaterialien bilden ein Zweikomponentensystem. Die Aktivatorflüssigkeit enthält ein tetrafunktionelles Alkoxysilan und eine organische Zinnverbindung als Katalysator. Die Paste setzt sich neben einigen Füllstoffen aus linearen Polydimethylsiloxanketten zusammen, die an beiden Enden eine OH-Gruppe besitzen [MARXKORS , MEINERS 1977] [MEINERS 1982].

Durch Reaktion von Alkoxysilan mit dem endständigen OH-Gruppen der linearen Ketten kommt es unter Abspaltung von Alkohol zu einer Kettenverlängerung.

Die Kettenenden werden dadurch multifunktionell und reagieren so mit den OH-Gruppen anderer Ketten, wobei es zu weiteren Kettenverlängerungen, aber auch zu Verzweigungen und Vernetzungen kommt.

[MARXKORS , MEINERS 1982]

Das typische Merkmal einer Polykondensationsreaktion ist die Entstehung von Nebenprodukten (bei der Vernetzung von K-Silikonem meist Alkohol), deren Verdunstung zu einer Kontraktion des abgebundenen Materials führt [MARXKORS 1982].

Aus dem Bestreben, die Verdunstung kleiner Moleküle zu verhindern, um damit die Schrumpfungsvorgänge zu minimieren, wurden die **additionsvernetzenden Silikone** (A-Silikone) entwickelt. Der Abbindevorgang erfolgt in einer Polyadditionsreaktion, bei der keine (flüchtigen) Nebenprodukte entstehen, woraus die hohe Dimensionsstabilität der A-Silikone resultiert [McCABE , WILSON 1978].

Der Vernetzungsmechanismus der A-Silikone besteht in einer katalysierten Addition von im Grundpolymer zugänglichen Vinyl ($-\text{CH}=\text{CH}_2$) -Gruppen mit SiH-Gruppen. Die Vernetzung und damit die Entstehung von Äthylbrücken erfolgt in Gegenwart eines geeigneten Katalysators (z.B. H_2PtCl).

Durch verschiedene organische Füllstoffe, bei denen es sich vornehmlich um Siliziumdioxid (SiO_2), Kalziumkarbonat (CaCO_3) oder Titandioxid (TiO_2) handelt, wird das Fließverhalten der Abformmaterialien auf Silikonbasis in unangemischtem Zustand bestimmt.

[MARXKORS , MEINERS 1982]

Heutzutage stehen Silikone in vier verschiedenen Konsistenzen für die Abformung zur Verfügung:

- Knetbare Massen (putty bodied)
- Schwerfließende Massen (heavy bodied)
- Mittelfließende Massen (regular bodied)
- Leichtfließende Massen (light bodied)

In Anlehnung an EICHNER [1988]

Diese Unterteilung trägt sowohl den verschiedenartigen Abformmethoden als auch dem klinischen Anwendungsbereich Rechnung.

Die knetbaren Massen kommen für die Erstabformung bei Korrektur-, Ergänzungs- und Doppelmischabformungen zum Einsatz. Sie dienen aber auch als Negativform bei der Erstellung von provisorischen Kronen und Brücken. Schwerfließende Massen dienen vorzugsweise für Überabformungen und zur Einphasentechnik.

Die mittelfließenden Massen finden ihren Haupteinsatzbereich in der Teil- und Totalprothetik. Daneben sind sie besonders für Einphasenabformung von Inlay-, Kronen- und Brückenpräparationen geeignet. Die eigentlichen Spritzmassen für die zweizeitigen Abformmethoden und die Sandwichabformung sind die leichtfließenden Massen. Des weiteren kommen sie, wie die mittelfließenden Materialien, als Unterfütterungsmaterial in der partiellen und totalen Prothetik zur Anwendung.

Ein Nachteil sowohl der A – Silikone als auch der K – Silikone ist deren Hydrophobie, bedingt durch die geringe Polarität der langkettigen Kohlenwasserstoffketten. Diese ist bei den A – Silikonem stärker ausgeprägt. Zusätze zur Hydrophilisierung dienen dem Zweck, diese Eigenschaft etwas abzumildern [REHBERG 1978].

2.6.2 Polyether

Grundsubstanz der Abformmasse auf Polyetherbasis ist ein Copolymerisat aus Äthylenoxid und Tetrahydrofuran im Molverhältnis 1:1. In einer Polyadditionsreaktion kommt es zu einer Ringöffnung dieser Heterocyclen und es entstehen lineare Moleküle, deren einzelne Bausteine über Sauerstoffbrücken (Etherbindung) miteinander verbunden sind. Durch Veresterung der endständigen OH-Gruppen mit einer ungesättigten Säure (z.B. Crotonsäure) entsteht ein Polyglykolether mit endständigen, sehr reaktionsfähigen Aziridgruppen. Durch Einwirkung eines aromatischen Sulfonsäureesters als Katalysator werden die ringförmigen Endgruppen geöffnet, wodurch zwei Valenzen frei werden, über die eine Vernetzung der Molekülketten erfolgt. [BREUSTETT , LENZ 1978] [MARXKORS , MEINERS 1982]

Die Biokompatibilität der Polyether ist schlechter wie die der Silikone. Einige Autoren beschreiben allergische Reaktionen nach der intraoralen Anwendung. Bei Patienten, die anamnestisch Allergien aufweisen, sollte daher auf andere Materialien ausgewichen werden, da es sonst zu Sensibilisierungen und Kontaktdermatiden kommen kann [FERGAL , STORRS 1973] [KULLENKAMP , HAUSEN , SCHULZ 1976] [NAYAR , TOMLINS , FAIRHURST , OKABE 1979].

Die Polyetherabformmaterialien werden nur von sehr wenigen Herstellern, und in der Bundesrepublik Deutschland nur von einem Unternehmen angeboten, so dass auf dem hiesigen Markt hauptsächlich das Produkt *Impregum* vertreten ist.

Vorzugsweise werden Polyetherabformmassen zur Einphasenabformung sowie zur Überabformung über die Primärteile bei Kombinationsersatz eingesetzt.

2.6.3 Polysulfide

Polysulfid-Elastomere sind Polykondensationsprodukte von Alkalipolysulfiden und aliphatischen Dihalogeniden. Hauptbestandteil der Polysulfidabformwerkstoffe sind niedrigmolekulare Spaltprodukte dieser Verbindung (Disulfide) mit mittel- und endständigen SH-Gruppen (Merkaptane).

Durch Einwirkung von Peroxiden (PbO_2) können die SH-Gruppen oxydiert werden, wodurch Schwefelbrücken entstehen, die eine Verlängerung und Vernetzung der Molekülketten bewirken. Dieses wiederum führt zur Herausbildung der elastischen Eigenschaften.

[BREUSTEDT , LENZ 1978]

Während sich die Polysulfide in den USA einer relativ starken Verbreitung erfreuen, spielen sie in der Bundesrepublik Deutschland nur eine untergeordnete Rolle [LEHNER , SCHÄRER 1991].

2.7 Formverhalten

Die Genauigkeit, mit der ein Abformmaterial eine abzuformende Struktur wiedergeben kann, wird als Formgenauigkeit bezeichnet. Allerdings kann der Wert der Formgenauigkeit nur für einen bestimmten Zeitpunkt und unter genau definierten Bedingungen gelten, da im Laufe der Zeit oder unter Einfluss von Temperatur und/oder Feuchtigkeit im allgemeinen Veränderungen eintreten [SCHWICKERATH 1976]. Diese zeit- und umgebungsabhängigen Veränderungen werden als Formverhalten bezeichnet.

Großen Einfluss auf das Formverhalten haben die plasteo-elastischen Eigenschaften eines Abformmaterials. Unter klinischen Bedingungen wird das Abformmaterial nach dem Aushärten von der abzuformenden Struktur entfernt. Hierbei wird es je nach Größe der untersichgehenden Areale verformt, wobei das Material auf Zug und Druck beansprucht wird. Je nach Größe und Ausdehnung dieser unvermeidbaren Deformation tritt bei Silikonen ein entsprechender Verformungsrest auf. Dieser Verformungsrest ist definiert als die Diskrepanz zwischen Ist und Soll nach einer vorausgegangenen Deformation.

Nach Untersuchungen von WELKER und MEHNER [1979] zeigen die additionsvernetzenden Silikone die geringsten Verformungsreste. Bei kondensationsvernetzenden Silikonabformmaterialien kann die Größe des Verformungsrestes durch längere Verweildauer im Mund (10 Minuten) deutlich verringert werden.

Abformungen auf Silikonbasis sollten nach der Entnahme aus dem Mund nicht sofort ausgegossen werden, da deformierte Bezirke Zeit zur Rückstellung benötigen [WILLIAMS , JACKSON , BERMAN 1984].

Nach Studien von FRANZ [1972] sollte mit der Modellherstellung mindestens 30 Minuten nach Entnahme aus dem Mund gewartet werden.

Neben dem Verformungsrest erfahren alle Elastomere während dem Abbindevorgang, aber auch danach Volumenveränderungen.

[SCHWINDLIG 1966] [SCHWICKERATH 1972] [BERGER , MARXKORS , MEINERS 1973] [MEINERS , MARXKORS , WRONSKA-GOLDA 1980] [WICHMANN , BORCHERS , LIMMROTH 1990] [WICHMANN , BORCHERS 1992]

Kondensations- wie auch additionsvernetzende Silikone zeigen eine gewisse Schrumpfungstendenz, wobei die erstgenannten im Verlauf der Lagerung weiter kontrahieren [WELKER , MEHNER 1979].

Die polymerisations- und lagerungsbedingte Schrumpfung der meisten A – Silikone liegt unterhalb von 0,5 % linear, diejenige der K – Silikone kann bis zu 0,8 % linear betragen [EINFELDT 1969].

Diese Langzeitkontraktion ist anfänglich noch auf die fortschreitende Vernetzung zurückzuführen. Die zweite Ursache ist ein durch flüchtige Substanzen der Grundmasse oder des Härters und/oder von entstehenden Gewichtsverlust nachweisbares Verdunsten von Reaktionsprodukten der Vernetzungsreaktion [MEINERS 1978].

Die Dimensionstreuung von Abformungen auf Silikonbasis hängt daher wesentlich von der chemischen Zusammensetzung, dem Reaktionsmechanismus, dem Füllstoffgehalt und der Lagerungsdauer der Abformung ab.
[LEHMANN 1987]

Nach WIRZ und SCHMIDLI [1989] steht einer bedenkenlosen Lagerung der A-Silikone von Stunden bis Tagen vor der Modellherstellung nichts im Wege. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch LACY , FUKUI et al [1981], die die A-Silikone als die derzeit lagerungsstabilsten Abformmaterialien bezeichnen.

2.8 Abformmethoden

Die Abformung hat bedingt durch die wiederholte Herstellung von Negativformen (Gipsmodell, Wachsmodellation, Gussform) während des gesamten Herstellungsverfahrens einer gegossenen Restauration einen hohen Stellenwert. Fehler die sich während der Abformung manifestieren, lassen sich durch nachfolgende Arbeitsschritte in der Regel nicht korrigieren. Nur eine einwandfreie Abformung erlaubt es dem Zahntechniker, ein gutes Arbeitsmodell und darauf einen exakt passenden Zahnersatz herzustellen.

[WÖSTMANN 1992]

Die formgenaue Wiedergabe einer Mundsituation wird über die Eigenschaften des zur Abformung benutzten Materials hinaus auch von der angewandten Abformtechnik wesentlich bestimmt [MEINERS 1977].

2.8.1 Doppelmischabformung

Die Doppelmischabformung ist ein einzeitiges, zweiphasiges Abformverfahren. Wie bei jeder ringlosen Abformung ist die Trockenlegung und Öffnung des Gingivalsulcus der abzuformenden Pfeilerzähne vorzunehmen. Mit dünnfließendem Abformmaterial werden die Pfeiler mittels einer Abformspritze sorgfältig umspritzt. Gleichzeitig wird im Abformlöffel die zähplastische Komponente bereitgelegt. Während sich das vorgespitzte Material noch in fließfähigem Zustand befindet, erfolgt darüber die Abformung mit dem Zweitmaterial. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass beide Materialien gleichzeitig in fließfähigem Zustand appliziert werden und sich zu einem Abdruck verbinden. Elastische Materialdeformierungen können daher nicht auftreten, d.h. ein methodisch bedingter Fehler ist nicht zu befürchten und eine hohe Reproduktionsgenauigkeit ist zu erwarten [LEHMANN , BURGDORF 1978].

Die technische Durchführung der Doppelmischtechnik ist bedeutend schwieriger und aufwendiger als die Korrekturabformung.

[MARXKORS 1967]

Die Genauigkeit der Doppelmischtechnik lässt sich steigern, wenn zur Abformung ein individueller Löffel verwendet wird. Nach Untersuchungen von FINGER und LOKOWANDT [1972] sind bei konfektionierten Löffeltypen mögliche vertikale Diskrepanzen wesentlich größer als bei individuellen.

Sofern allerdings ein individueller Löffel Verwendung findet, darf als Zweitmaterial keine knetbare Masse (putty bodied), sondern lediglich ein Material schwerfließender Konsistenz (heavy bodied) verwendet werden, damit es nicht zu einer Deformation des vergleichsweise flexiblen individuellen Löffels durch die Knetmasse kommt.

2.8.2 Sandwichabformung

Die Sandwichtechnik ist eine Modifikation der Doppelmischtechnik. Der Unterschied zur Doppelmischabformung besteht darin, dass das dünnfließende Material nicht mit einer Spritze appliziert wird, sondern direkt auf die gleichzeitig angemischte schwerfließende Masse im Abformlöffel aufgebracht wird. Anschließend nimmt man unverzüglich die Abformung vor.

Der Vorteil dieser Methode liegt in einem Gewinn von Verarbeitungszeit für das dünnfließende Material. Während MEINERS [1977] von dieser Technik abrät, da insbesondere bei Kavitätenabformungen Lufteinschlüsse kaum zu vermeiden sind, streicht RASCHE [1978] gerade dieses Verfahren für die Abformung von Inlaykavitäten heraus.

2.8.3 Einphasenabformung

Der Unterschied zu den vorher beschriebenen Techniken besteht in der Verwendung nur einer Abformmasse mit gleicher Konsistenz. Die Viskosität dieser Abformmasse muß so beschaffen sein, dass sie sowohl mit einer Spritze verwendet werden kann als auch genügend Standfestigkeit besitzt, um mit einem Löffel im Mund appliziert werden zu können.

[MARXKORS 1991]

Nach der Trockenlegung und Öffnung des Gingivalsulcus wird der abzuförmende Bereich umspritzt und gleichzeitig dieselbe Masse in den Abformlöffel gegeben. Auch bei dieser Methode wird von MARXKORS [1991] die Verwendung ausreichend verwindungssteifer individueller Löffel empfohlen, um einen gewissen Staudruck zu erreichen. Mit Hilfe der Einphasentechnik lassen sich hochgenaue Modelle erzielen. Dies gilt insbesondere dann, wenn A-Silikone oder Polyethermassen als Abformmaterial verwendet werden. [WIRZ , SCHMIDLI 1989]

2.8.4 Korrekturabformung

Bei der Korrekturabformung handelt es sich um eine zweizeitige Abformmethode, die erstmals von STAHL [1956] beschrieben wurde, wobei für die Erstabformung thermoplastische Kompositionsmasse verwendet wurden. Die unzureichende Haftung des Silikons an der Kompositionsmasse erwies sich als sehr nachteilig, da solche Abformungen oft unbrauchbar waren und wiederholt werden mußten. Aufgrund dieser Nachteile wurde das Prinzip der Doppelmischabformung mit anderen Materialkomponenten weiterentwickelt.

Die 1965 von HOFMANN inaugurierte Korrekturabformung gehört heute nach Umfragen von LEHMANN [1979] und FREESMEYER [1980] mit über 50 % zu den am häufigsten praktizierten Abformmethoden für festsitzenden Zahnersatz.

Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, dass der mit einem knetbaren Silikon über die präparierten Zähne gewonnene Erstabdruck in einem zweiten Arbeitsgang mit einem dünn- fließenden Silikon korrigiert wird. Die Erstabformung wird mit einem konfektionierten Abformlöffel über die zuvor in den Sulcus der präparierten Zähne gelegten Retraktionsfaden genommen. Nach Entnahme der Erstabformung aus dem Mund müssen alle untersichgehenden Areale freigeschnitten und die Interdentalsepten mit einer Schere entfernt werden [MARXKORS 1967].

Auf jeden Fall sollte die Primärabformung vor der eigentlichen Korrekturabformung zur Überprüfung nochmals im Mund reponiert werden. Bei der Zweitabformung wird das dünnfließende Material in den Sulcus gepreßt, da beim Eindringen des Zahnstumpfes in einen präzisen, mit Korrekturmaterial gefüllten Primärabdruck ein Stempeldruck erzeugt wird. Dies gelingt um so besser, da der zuvor entfernte Retraktionsfaden störende Anteile der Gingiva verdrängt hat. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens ist begründet in der Tatsache, dass die Darstellung auch subgingival gelegener Präparationsgrenzen gut gelingt.

Aus Untersuchungen anderer Autoren ist bekannt, dass die Methode der Korrekturabformung gewisse verfahrensimmanente Schwachpunkte aufweist. Die Lumina der Kronenstümpfe werden grundsätzlich zu klein wiedergegeben. Dieser Fehler beruht vorwiegend auf der unvermeidlichen Deformation der Erstabformung durch nicht vollständig ausfließendes Korrekturmaterial.

In der Fachliteratur finden sich hierzu zahlreiche Vorschläge, die Abflussbedingungen für die Korrekturkomponente durch Anbringen von gesonderten Abflussmöglichkeiten in der Erstabformung oder durch einfaches Weiten des Erstabformungslumens zu verbessern.

[BERGER , MARXKORS , MEINERS 1973] [STACHNISS , KOLBOW 1977] [LEHMANN , BURGDORF 1978] [LEHMANN , HARTMANN 1982] [DUMFAHRT , SCHÄFER 1986]

Zuletzt modifizierte UGRINOVIC [1993] das Korrekturabformverfahren. Im Wesentlichen beruht die Modifikation auf einem speziellen Abflussrillensystem, das mit einem eigens dafür entwickelten Instrument angebracht wird. In jedem Fall aber muss ein sorgfältiges Beschneiden und Anbringen von Abflussmöglichkeiten in der Erstabformung erfolgen, um Deformationen auf ein Minimum zu reduzieren.

Bei der Zweitabformung wird die Erstabformung möglichst blasenfrei mit Korrekturmasse bestrichen in den Mund eingebracht und zunächst maximal zwei Sekunden lang unter Druck gehalten. Bis zur vollständigen Aushärtung wird der Löffel ohne Druck am Ort belassen. Die Genauigkeit lässt sich steigern, indem der weitgestellte Sulcus, nach Entnahme der Retraktionsfäden, mit dünnfließendem Silikon ausgespritzt wird.

[LEHMANN , HARTMANN 1982]

2.8.5 Ergänzungsabformung

Die Ergänzungsabformung stellt eine weitere Variante der Doppelabformverfahren dar.

Von STAEHLE [1967] stammt der Hinweis, die Erstabformung bereits vor der Präparation der Pfeiler mit Knetsilikon vorzunehmen. Bei der Zweitabformung wird dann die abgetragene Zahnhartsubstanz durch ein dünnfließendes Silikon ersetzt. Auf diese Weise entsteht im Erstabdruck ein gewisses Platzangebot für das dünnfließende Silikon, so dass die Stauchungseffekte bzw. die daraus resultierenden Abformfehler vermieden werden sollen. Eine weitere Modifikation dieser Methode wurde 1977 von SCHWINDLIG angegeben, der die Erstabformung über einen Platzhalter vornimmt.

Nachuntersuchungen zu dieser Methode zeigen, dass auf diese Weise gewonnene Modellstümpfe stets zu groß sind. Diese Tatsache lässt sich wie folgt erklären :

Je dünnfließender ein Silikon ist, um so stärker ist dessen Schrumpfung. Da nun aber auf der einen Seite durch die relativ dicke Schicht des dünnfließenden Materials die endogenen Spannungen sehr gering sind und auf der anderen Seite eine Verbindung mit dem Erstmaterial zustande kommt, kann sich die Kontraktion infolge der Aufschumpfung auf das Erstmaterial nur in einer Vergrößerung des Lumens auswirken. Sofern eine Ergänzungsabformung durchgeführt werden soll, empfiehlt sich die Anwendung von A-Silikonem, da diese vergleichsweise wenig schrumpfen.

[BERGER , MARXKORS , MEINERS 1973]

2.8.6 Segmentabformung

Auch bei dieser Methode läßt sich die Entstehung von endogenen Spannungen und Verdrängungseffekten weitgehend vermeiden.

[SCHULZ , SCHWIKERATH 1989]

Zunächst erfolgt wie auch bei den zuvor beschriebenen Verfahren eine Vorabformung mit einem hochviskösen Silikon. Nach der Entnahme aus dem Mund wird das Abformmaterial zur weiteren Bearbeitung aus dem Löffel entfernt und alle Überschüsse bis auf drei Millimeter des Gingivalsaums zurückgeschnitten. Anschließend wird die Abformung durch von oral nach vestibulär geführte Schnitte in mehrere Segmente zerlegt. Die einzelnen Segmente werden mit dünn- bis mittelfließendem Silikon gefüllt und im Mund reponiert. Abschließend wird der Abformlöffel ebenfalls mit dünnfließendem Silikon beschickt und über die im Mund befindlichen Segmente gesetzt.

In der Praxis hat diese Methode bisher jedoch noch keine Verbreitung gefunden.

3. Ziel der Arbeit

Wie in zahlreichen *in vitro*-Untersuchungen gezeigt werden konnte, ist es mit den heute zur Verfügung stehenden Werkstoffen und technischen Verfahrenswegen möglich, Gussstücke herzustellen, deren Randschlussgenauigkeit im Bereich um 50 Mikrometer liegt.

Klinische Nachuntersuchungen an festeingesetzten Restaurationen zeigen jedoch eine erhebliche Diskrepanz zwischen theoretisch Möglichem und klinisch Erreichtem. Randspaltnmessungen an extrahierten Zähnen mit gegossenen Restaurationen ergaben durchschnittlich größere Randspaltbreiten, Werte bis zu 400 µm wurden gemessen.

Da unter Laborbedingungen angefertigter Zahnersatz in Form von Kronen und Brücken ausnahmslos bessere Ergebnisse im Bereich Dichte des zervikalen Randspalts vorweist, muß angenommen werden, dass klinische Parameter für die Diskrepanz verantwortlich zu machen sind. Entsprechend dieser Aussage wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit versucht, durch den Vergleich verschiedener Präparationsformen und unter Verwendung unterschiedlicher Abformmaterialien **in vivo** festzustellen, inwieweit sich unterschiedliche klinische Parameter auf das Randschlussverhalten von gegossenen Restaurationen qualitativ auswirken.

4. Material und Methode

Die exakte Messung des Randspalts zwischen gegossener Restauration und präpariertem Zahn ist nur an extrahierten Zähnen möglich. Replikaverfahren sind nur bedingt geeignet, da mit ihrer Hilfe unzugängliche Approximalräume nicht dargestellt werden können. Um vergleichende Untersuchungen bezüglich der Einflüsse verschiedener Präparationsarten und Abformmaterialien in vivo auf die Passgenauigkeit eines Gussstück durchführen zu können, ist es unumgänglich, Zähne im Mund des Patienten zu präparieren, abzuformen und zu extrahieren. Die Messung der Randschlussgenauigkeit, der auf Gipsmodellstümpfen angefertigten Gussobjekte, kann dann mit Hilfe eines Messmikroskops exakt am extrahierten Zahn durchgeführt werden.

4.1 Auswahl der Zähne

Für die Untersuchung kamen allein schon aus ethischen Gesichtspunkten nur solche Zähne in Betracht, die aufgrund ihrer Vorerkrankung zur Extraktion anstanden. Da eine Extraktion nie ohne Grund erfolgt, viele extraktionswürdige Zähne aber so zerstört sind, dass sie nicht mehr präpariert werden können und schließlich nur wenige ohnehin nicht ganz angstfreie Patienten bereit waren, die zeitaufwendige Präparation und zweifache Abdrucknahme über sich ergehen zu lassen, konnten nur dreißig Zähne bei insgesamt einundzwanzig Patienten in die Untersuchung einbezogen werden.

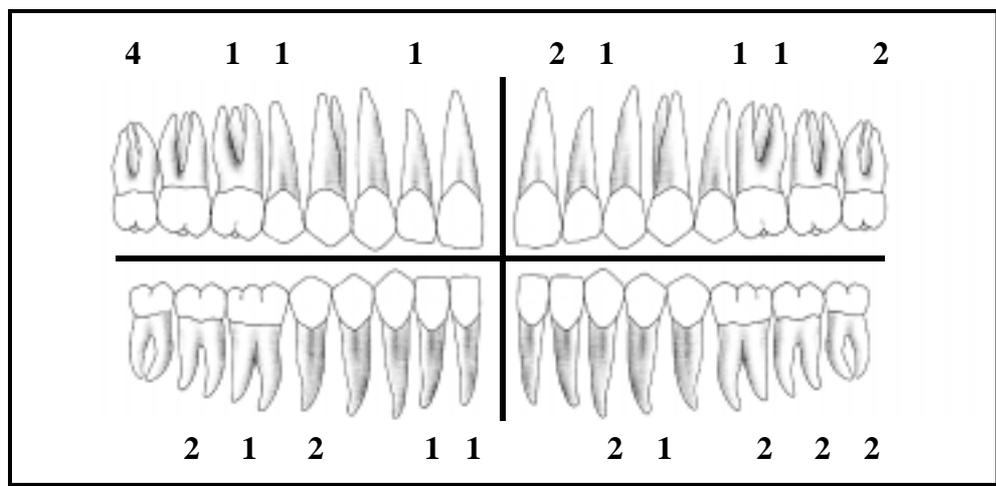


Abbildung 1: Typ und Anzahl der zur Präparation und Abformung gelangten Zähne

In einer gesonderten Sitzung wurde jedem einzelnen Patienten anhand eines Aufklärungsgesprächs umfassend und detailliert erläutert, wie und warum die bevorstehende Behandlung erfolgt. Nach ausdrücklicher Zustimmung, nicht zuletzt aus forensischen Gründen, wurde eine eingehende Untersuchung vorgenommen und entsprechend dokumentiert. Desweiteren wurden, in einem eigens für diese Untersuchung erstellten Befundbogen, Fakten der Behandlung notiert.

Nach Auswertung der Dokumentationsbögen war die Hauptursache für die zur Extraktion vorgesehenen Zähne eine profunde Parodontitis. Dieser Umstand erschwerte in nicht unerheblichem Maß die Präparation und Abformung dieser Zähne.

Im Einzelnen wurden erhoben :

- Personalien des Patienten
- Datum der Behandlung
- Behandler und Assistenz
- Eingehende Untersuchung
- Einzelzahnbefund der oder des zu behandelnden Zahnes
- Nötige Vorbehandlungen
- Einschätzung der Mundhygiene
- Zustand des Parodontiums
- Lockerungsgrad
- Art und Umfang der Anästhesie
- Präparationsart
- Lage der Präparationsgrenze
- Präparationsdauer
- Retraktionsmaßnahmen
- Platzverhältnisse Cavum oris
- Platzverhältnisse zu präparierender Zahn
- Papillenblutung
- Speichelfluß

4.2 Präparation der Zähne

Nach erneuter Aufklärung und Einwilligung des Patienten wurde der zu extrahierende Zahn mit einem handelsüblichen Anästhetikum, hier Ultracain, lege artis anästhesiert. Nach Erreichen einer für die Extraktion benötigten suffizienten Anästhesietiefe erfolgte die Präparation der Zahnhartsubstanz mit einem Lichtturbinenwinkelstück und handelsüblichen diamantierten Schleifkörpern. Es wurde darauf geachtet, in einem klinisch üblichen Zeitan-satz eine zervikal zirkulär erkennbare Präparationsgrenze anzulegen. Hierbei wurden keinerlei weitere Behandlungsmaßnahmen, über das normale Maß einer Zahnentfernung hinaus, wie etwa eine erneute Anästhesie oder Nachbehandlung, benötigt. Abschließend erfolgte schonend die geplante Extrakti-on.

4.2.1 Stufenpräparation rechtwinklig

Für die Präparation der rechtwinkligen Stufe standen insgesamt zehn Zähne zur Verfügung. Diese wurden nach dem oben angeführten Behandlungsablauf zur Aufnahme einer Vollgusskrone beschliffen.

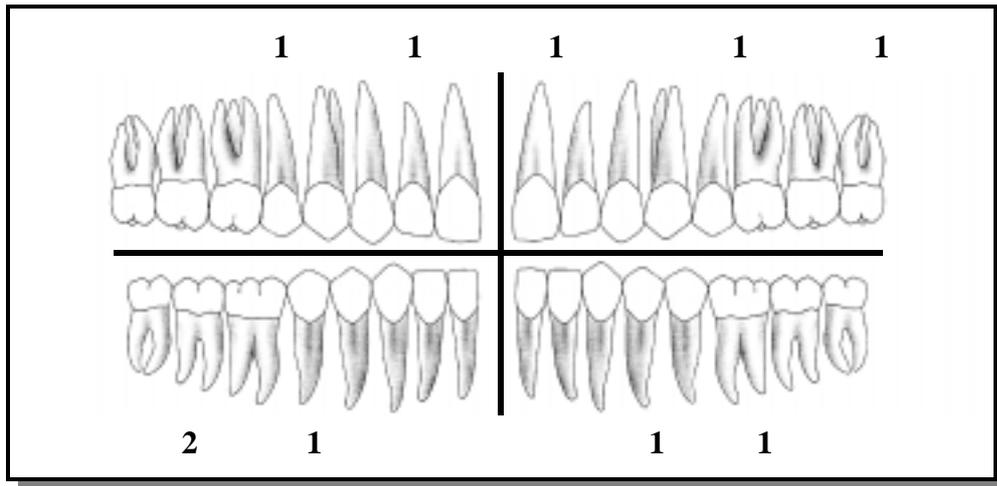


Abbildung 2: Art und Anzahl der zur rechtwinkligen Stufenpräparation gelangten Zähne

Die Bearbeitung der Zahnhartsubstanz erfolgte in zwei Schritten :

Die Grobpräparation wurde mit Hilfe der KAVO SuperTorque LUX 2 640 B Turbine und einem diamantierten Zylinder (grün) durchgeführt.



Zylinder grob 534 FG 110 G

Die Feinpräparation im Sinne einer Verminderung der Rauftiefe erfolgte mit einem roten Hand und Winkelstück der Marke KAVO INTRAmatic LUX 2 24 LN und formgleichen diamantierten Zylinder (rot).



Zylinder fein 514 FG 110 C

Um spätere Verwechslungen zu vermeiden, da in der hier verwendeten zahnärztlichen Nomenklatur Doppelnennungen möglich sind, wurde jedem Zahn eine Nummer zugeteilt.

- Zahn 36 = Nummer 12
- Zahn 47 = Nummer 13
- Zahn 34 = Nummer 14
- Zahn 15 = Nummer 15
- Zahn 28 = Nummer 18
- Zahn 25 = Nummer 19
- Zahn 47 = Nummer 20
- Zahn 45 = Nummer 21
- Zahn 12 = Nummer 22
- Zahn 21 = Nummer 23

Abbildung 3 :

Zähne die mit einer Stufenpräparation rechtwinklig versehen wurden und die entsprechend vergebene Nummer

4.2.2. Stufenpräparation mit Abschrägung 45°

Für die Präparation der Stufe mit 45° Abschrägung standen insgesamt zehn Zähne zur Verfügung. Diese wurden nach vorseitig beschriebenem Behandlungsablauf zur Aufnahme einer Vollgusskrone beschliffen.

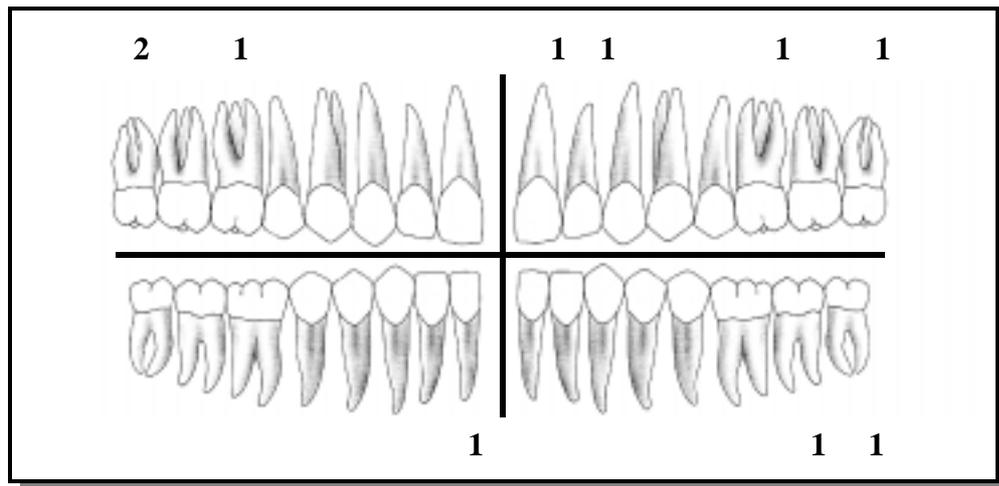


Abbildung 4 : Art und Anzahl der zur Stufenpräparation mit Abschrägung 45° gelangten Zähne

Die Bearbeitung der Zahnhartsubstanz erfolgte in zwei Schritten :

Die Grobpräparation wurde mit Hilfe der KAVO SuperTorque LUX 2 640 B Turbine und einem diamantierten Zylinder mit 45° Abschrägung (grün) durchgeführt.



Aus Satz nach Prof. R. Marxkors 886.314.016 (Fa. Komet)

Die Feinpräparation im Sinne einer Verminderung der Rauftiefe erfolgte mit einem roten Hand und Winkelstück der Marke KAVO INTRAMatic LUX 2 24 LN und formgleichen diamantierten Zylinder (rot).



Aus Satz nach Prof. R. Marxkors 8886.314.016 (Fa. Komet)

Um spätere Verwechslungen zu vermeiden, da in der hier verwendeten zahnärztlichen Nomenklatur Doppelnennungen möglich sind, wurde jedem Zahn eine Nummer zugeteilt.

- Zahn 37 = Nummer 7
- Zahn 26 = Nummer 8
- Zahn 18 = Nummer 9
- Zahn 18 = Nummer 10
- Zahn 28 = Nummer 11
- Zahn 21 = Nummer 16
- Zahn 22 = Nummer 17
- Zahn 38 = Nummer 28
- Zahn 16 = Nummer 29
- Zahn 41 = Nummer 30

Abbildung 5:

Zähne die mit einer Stufenpräparation mit Abschrägung 45° versehen wurden und die entsprechend vergebene Nummer

4.2.3 Hohlkehlpräparation

Für die Präparation der Hohlkehle standen insgesamt zehn Zähne zur Verfügung. Diese wurden nach vorseitig beschriebenem Behandlungsablauf zur Aufnahme einer Vollgusskrone beschliffen.

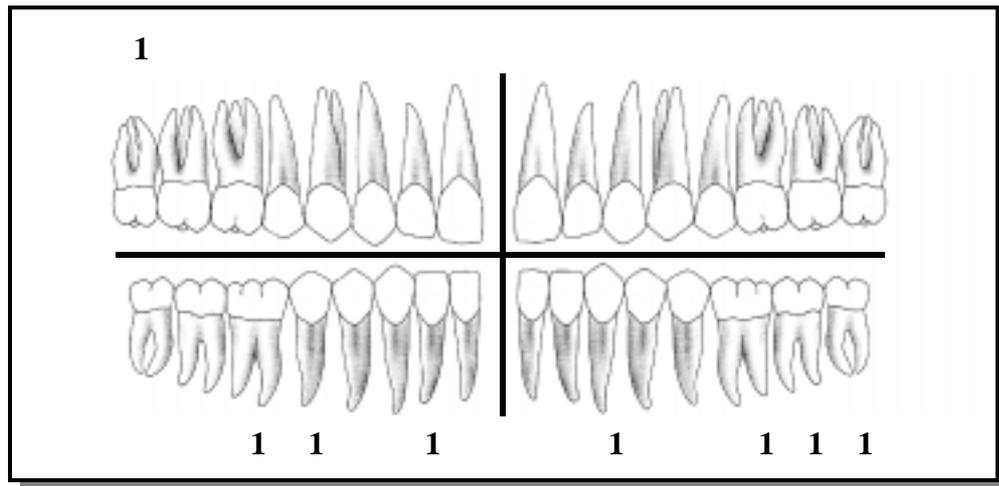


Abbildung 6: Art und Anzahl der zur Hohlkehlpräparation gelangten Zähne

Die Bearbeitung der Zahnhartsubstanz erfolgte in zwei Schritten :

Die Grobpräparation wurde mit Hilfe der KAVO SuperTorque LUX 2 640 B Turbine und einem diamantierten Torpedo (grün) durchgeführt.



Torpedo grob 534 FG 289 G

Die Feinpräparation im Sinne einer Verminderung der Rauftiefe erfolgte mit einem roten Hand und Winkelstück der Marke KAVO INTRAMatic LUX 2 24 LN und formgleichen diamantierten Zylinder (rot).



Torpedo fein 514 FG 289 C

Um spätere Verwechslungen zu vermeiden, da in der hier verwendeten zahnärztlichen Nomenklatur Doppelnennungen möglich sind, wurde jedem Zahn eine Nummer zugeteilt.

- Zahn 18 = Nummer 1
- Zahn 46 = Nummer 2
- Zahn 36 = Nummer 3
- Zahn 33 = Nummer 4
- Zahn 33 = Nummer 5
- Zahn 38 = Nummer 6
- Zahn 18 = Nummer 24
- Zahn 45 = Nummer 25
- Zahn 37 = Nummer 26
- Zahn 42 = Nummer 27

Abbildung 7 :

Zähne die mit einer Hohlkehlpräparation versehen wurden und die entsprechend vergebene Nummer

4.3 Abformmethode und Materialien

Im Anschluss an die Präparation der Stümpfe erfolgte die Abformung der Zähne. Zuvor wurde der Sulcus des abzuformenden Kronenstumpfs mit Hilfe eines unbehandelten Retraktionsfadens (ROEKO , Retracto non impregnated , Größe 3 , Art.No. 511003) eröffnet.

Die Abformung wurde nach der Methode der Korrekturabformung zweizeitig durchgeführt. Als Abformmaterial diente ein kondensationsvernetzendes und ein additionsvernetzendes Silikon.

- 1 **SILAPLAST / SILASOFT N** der Firma DETAX, kondensationsvernetzende Präzisionsabformmasse auf Silikonbasis, hoch und niedrigviskös.
- 2 **IMPRINT II** der Firma 3 M, ein Vinyl-Polysiloxan hochvisköses / niedrigvisköses Abformmaterial-System, additionsvernetzend.

Die Abformung selbst erfolgte mit konfektionierten Abformlöffeln aus Metall geeigneter Größe. Im Einzelnen wurde an jedem Zahn folgende Abformung vorgenommen :

Methode 1

Korrekturabformung mit SILAPLAST / SILASOFT N
(C – Silikon)

Methode 2

Korrekturabformung mit IMPRINT II Vorabdruckmaterial und
IMPRINT II Korrekturmaterial (A – Silikon)

Die Reihenfolge der Abformung wurde von Patient zu Patient verändert, um verfahrensimmante Fehlerquellen (Legen von Retraktionsfäden und steigende psychische Beanspruchung des Patienten als auch des Behandlers) zu nivellieren. Die Verarbeitung der Abformmaterialien erfolgte nach Maßgabe der Hersteller.

Zu Dokumentationszwecken wurde die jeweilige Verweildauer der Vorabformung als auch der Korrekturabformung im Mund des Patienten notiert. Nach Entnahme, Säuberung und Trocknung der Korrekturabformung wurde eine visuelle Inspektion bezüglich qualitativer Gesichtspunkte vorgenommen und vermerkt.

Nach Beendigung der Abformung wurden die präparierten Zähne schonend extrahiert und mit Wasserstoffsuperoxyd 3 % gesäubert. Zur Aufbewahrung wurden die Zähne in histo-pathologischen Gefäßen geeigneter Größe unter Alkohol konserviert.



Abbildung 8:

Zahn 21 (Nummer 16)
Stufenpräparation mit Abschrägung 45°

4.4 Modellherstellung

Die Abformlöffel wurden nach einer Lagerung von mindestens einer, höchstens drei Stunden ausgegossen. Als Modellmaterial diente ein Dental-Superhartgips (FUJI-ROCK, GC dental industrial corp. Tokyo Japan) der nach Vorgabe des Herstellers mithilfe eines Vakuum-Einbettgerätes (Degussa, Modell P 3, Multivac 3) angerührt wurde. Nach Verfestigung und dem Sägen der Zahnkränze wurden die Präparationsgrenzen der Stumpfmodelle unter einem Stereomikroskop (Ernst Letz GmbH, Wetzlar, 10,5 fach) freigelegt. Danach erfolgte deren Markierung mit einem Margin Liner (belle de st. Claire, Plummer St. Chatsworth, USA). Zur Verfestigung der Gipsoberfläche diente ein Gipshärter (Die Hardener, Yeti Dental-Produkte GmbH), der schonend mit einem feinen Dachshaarpinsel aufgetragen wurde. Abschließend wurde der Stumpf mit einem Spacer (Stumpflack, Orbis-Dental GmbH, Auftragstärke ca. 1,2 – 1,7 100/stel) bis ca. 1 mm vor die Präparationsgrenze lackiert.



Abbildung 9 :

Gipsmodellstumpf Zahn 21
Stufenpräparation mit Abschrägung 45°
(Nummer 16, silaplastabgeformt)

4.5 Wachsmodellation und zahntechnischer Guss

Die Stumpfmodelle wurden zunächst mit Isocera (Bego, Bremen) isoliert und eventuell vorhandene untersichgehende Stellen mit S-U-Ausblockwachs (Schuler-Dental, Ulm) ausgeblockt. Im Anschluß daran erfolgte die Modellation der Wachskäppchen. Um Spannungen in der Wachsmodellation durch unterschiedlich temperiertes Auftragen bei der herkömmlichen Aufwachstechnik zu vermeiden, wurden die 60 Transferkäppchen im Tauchwachsverfahren (Bredent Tauchwachs TWP, gelb) hergestellt. Die Gipsmodellstümpfe wurden unter Zuhilfenahme eines Tauchgerätes (Relo Star, Gema, Temp. 65 – 100 C°) bei 77 C° Wachs­temperatur eingetaucht. Anschließend wurde die Wachsschicht bis ca. 1 mm über die Präparationsgrenze zurückgeschnitten und der fehlende Bereich mit Spezialgusswachs nach Gründler angetragen. Die Modellation bis zur Präparationsgrenze wurde nun mithilfe eines Stereomikroskops (Ernst Leitz GmbH Wetzlar, 10,5 fach) auf Unter- oder Überkonturierungen kontrolliert.

Die fertigen Modellationen wurden vor dem Einbetten mit Waxit (Degussa, Frankfurt) benetzt und damit entspannt.

Jeweils fünfzehn Wachskäppchen wurden in einem Zwölfermuffelring an einen vorbereiteten Ringbalken (5 mm, OMNI Dent, grün) mit Zufuhrkanälen (4 mm, OMNI Dent, grün) angewachst.

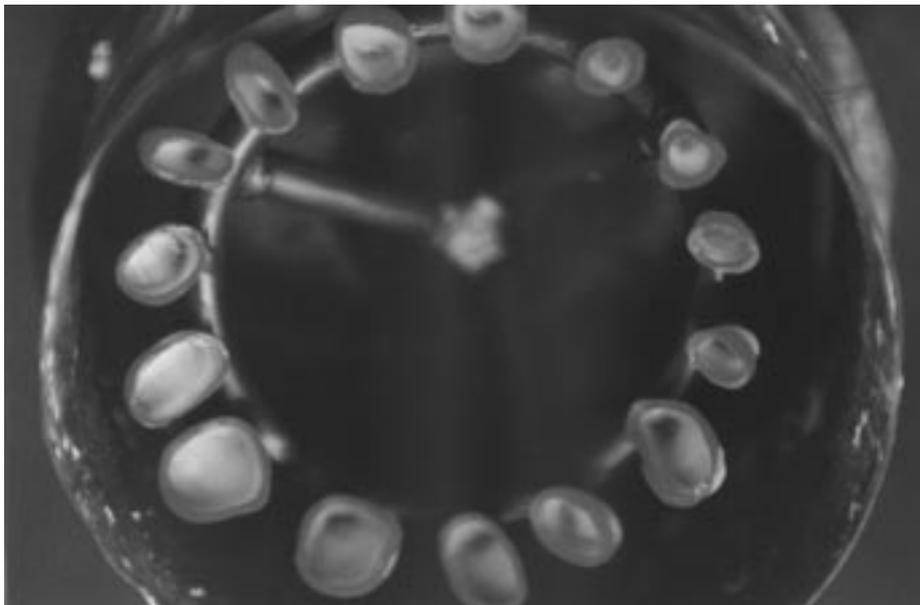


Abbildung 10 : 15 Wachskäppchen in Vorbereitung für den zahntechnischen Guss (hier, befestigt an einem Ringbalken und positioniert in einer 12'er Stahlmuffel fertig zum Befüllen mit Einbettmasse)

Die Einbettmasse (Gransit-Premium, Sicadent-Technik GmbH, phosphatgebunden) wurde unter Einhaltung der Verarbeitungsvorschriften in einem Vakuumanrührgerät (Degussa M 3) angemischt und blasenfrei in die mit einem Einlagevlies (OMNI Dent Dentalvlies) ausgelegte Muffel eingebracht.

Nach ausreichender Abbindezeit wurde die vergossene Muffel in einem Vorwärmofen (KAVO Elw Typ 5635) unter Einhaltung der Zeit- und Temperaturintervalle auf Gusstemperatur gebracht. Unmittelbar im Anschluss erfolgte der zahntechnische Guss im Vakuum Druckgussgerät (Hereus Combi Lab. CL – iG).

Verwendete Dentallegierung :

- **CECOM G9**
hochgoldhaltige, biokompatible Gusslegierung nach DIN EN ISO 1562 , Typ 4 extrahart / sattgelb , Pd frei
- **Indikationen**
Inlays, Onlays, Kronen, kleine Brücken, Brücken beliebiger Spannweite, Modellguss
- **Zusammensetzung in % Masse**
Au 72,0 Pt 3,3 Ag 13,7 Cu 10,4 Zn 0,5 Ir 0,1

Nach langsamem Abkühlen der gegossenen Muffeln wurden die Gussobjekte ausgebettet und mit Glanzstrahlperlen (Mega Dental, 50 μm) abgestrahlt. Letztlich wurden die abgetrennten Gusskronen in üblicher Weise auf die entsprechenden Gipsmodellstümpfe aufgepasst.



Abbildung 11 : Gipsmodellstumpf Zahn 21
mit aufgepasster Gusskrone.
(Nummer 16 , silaplastabgeformt)

4.6 Messung der Randspaltbreite

An jedem extrahierten Zahn wurden senkrecht zur Präparationsgrenze acht Messpunkte festgelegt. Je ein Messpunkt befand sich in der Mitte der vestibulären und oralen Fläche des präparierten Stumpfes. Zwei weitere verteilen sich auf die Mitte der mesialen und distalen Approximalfläche. Die restlichen vier Messpunkte sind jeweils an der Grenzfläche lokalisiert.

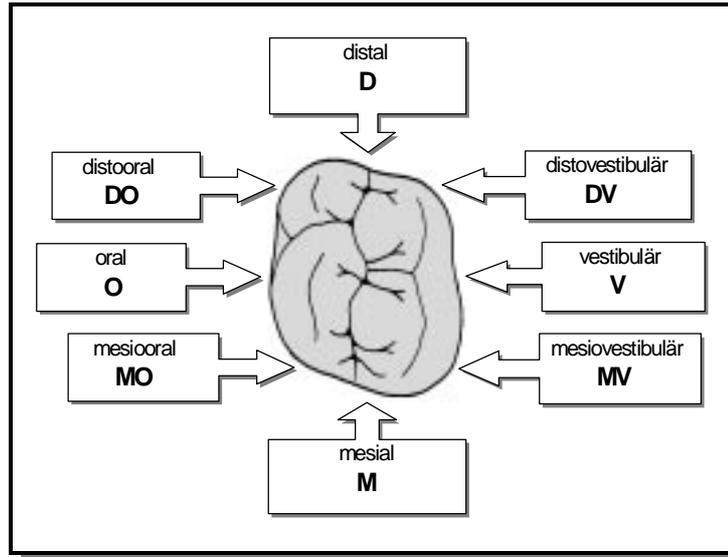


Abbildung 12 : Lokalisation der Messstellen und deren Bezeichnung

Jede einzelne der sechzig im Dentallabor angefertigten Gusskronen wurde anschließend auf den dazugehörigen extrahierten Zahn aufgesetzt und an den definierten Messpunkten bezüglich der Randspaltbreite vermessen.

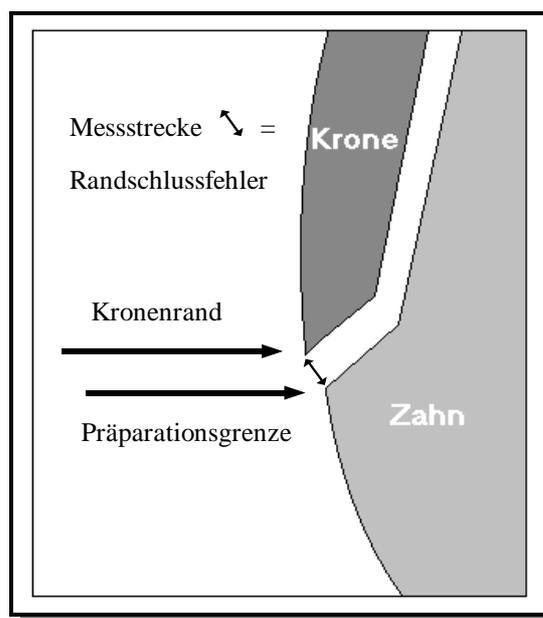


Abbildung 13 : Erläuterung zur gemessenen Distanz

Mit Hilfe eines Messmikroskops (LEICA, Typ M 420, Makrozoom 6,3 – 32 fach, Binokular 21B, 10 fach) wurde die Distanz zwischen Kronenrand und Präparationsgrenze, bei einer vierzigfachen Vergrößerung, in Mikrometer bestimmt und entsprechend dokumentiert. Hierbei wurde die initiale Öffnung der Krone in Beziehung zur Präparationsgrenze des Zahns betrachtet. Der Einblickwinkel betrug dabei 30°. Die Betrachtung der Proben erfolgte also senkrecht zur Verbindungslinie zwischen der Goldinnenkante der Gusskrone und der Präparationsgrenze. Die Reproduzierbarkeit der Messung betrug +/- 10 Mikrometer.

Für jedes Präparationsverfahren ergaben sich 160 Messwerte (10 Zähne pro Präparationsart x 2 Abformmaterialien = 20 Gipsmodellstümpfe = 20 Gusskronen x 8 Messpunkte = 160 Messergebnisse).

Insgesamt wurden 480 Messwerte erhoben, wovon jeweils die Hälfte auf Imprintabformungen und Silaplastabformungen entfallen.

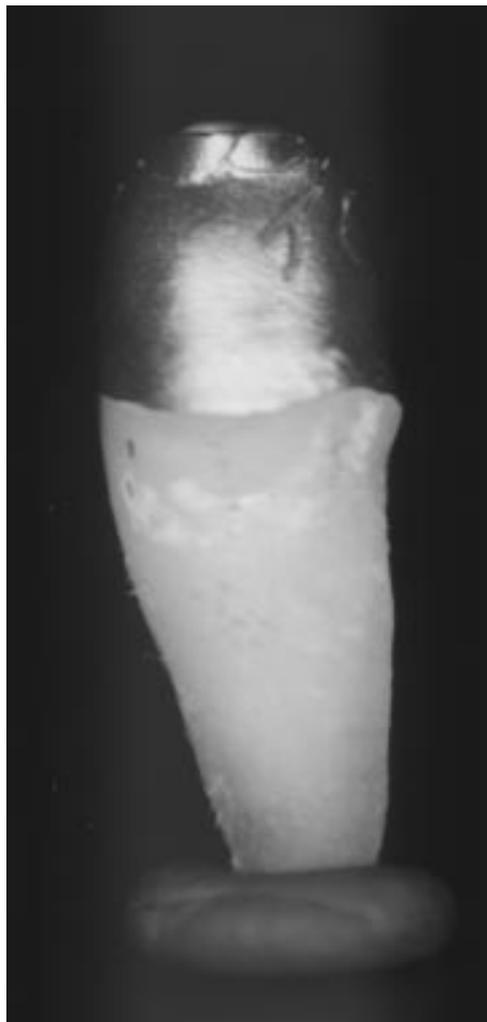


Abbildung 14: Zahn 21 (Nummer 16) mit Gußkrone

4.7 Graphische Darstellung und statistische Auswertung

Die erhaltenen Messwerte wurden über die digitalisierten Messspindeln des Messmikroskops erfasst. Für die sich anschließende Auswertung wurden die Messergebnisse in MS *Excel*-Tabellen übertragen. Die Ergebnisse für jede Versuchsreihe wurden verfahrensspezifisch zusammengefasst. Die Unterscheidung erfolgte nach Präparationsverfahren und Abformmethode (bzw. verwendetem Abformmaterial).

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS 7.5 (Fa. SPSS Inc., Columbus, USA) durchgeführt. Die graphische Darstellung der Messergebnisse wurde mit dem Diagrammassistenten des MS *Excel*-Programm realisiert.

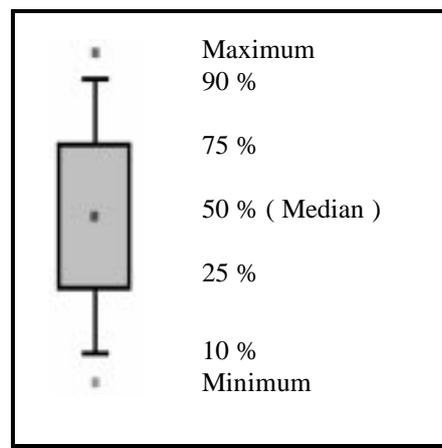
Da die Standardabweichung um den Mittelwert nicht der Normverteilung entsprach, wurde für einen Teil der Diagramme, die von BIFFAR [1991] empfohlene deskriptive Darstellung in Form von Boxplots gewählt. Die Transparenz und Übersichtlichkeit der Datenmenge soll durch die Box-Plot

Die Ausdehnung der Box gibt Auskunft über den Interquartilabstand zwischen dem 25 %- und 75 %-Quantil. Oberhalb und unterhalb des in die Box aufgetragenen Medians befinden sich je 50 % aller Messwerte. Die Federbalken zeigen das 10 %- bzw. 90 %-Quantil. [BIFFAR , 1991]

Abbildung 15 :

Boxplot (Perzentil)

Deskriptive Form der Darstellung von Messwerten die nicht der Normalverteilung entsprechen. [BIFFAR, 1991]



Die graphischen Darstellungen der Boxplots enthalten zusätzlich zur perzentilen Verteilung jeweils noch die Minimal- und Maximalwerte als Punkte.

5. Ergebnisse

5.1 Absolute Häufigkeit der Messwerte

Die absolute Häufigkeitsverteilung der gemessenen Werte in Prozent pro Messintervall kann der Abbildung 16 entnommen werden.

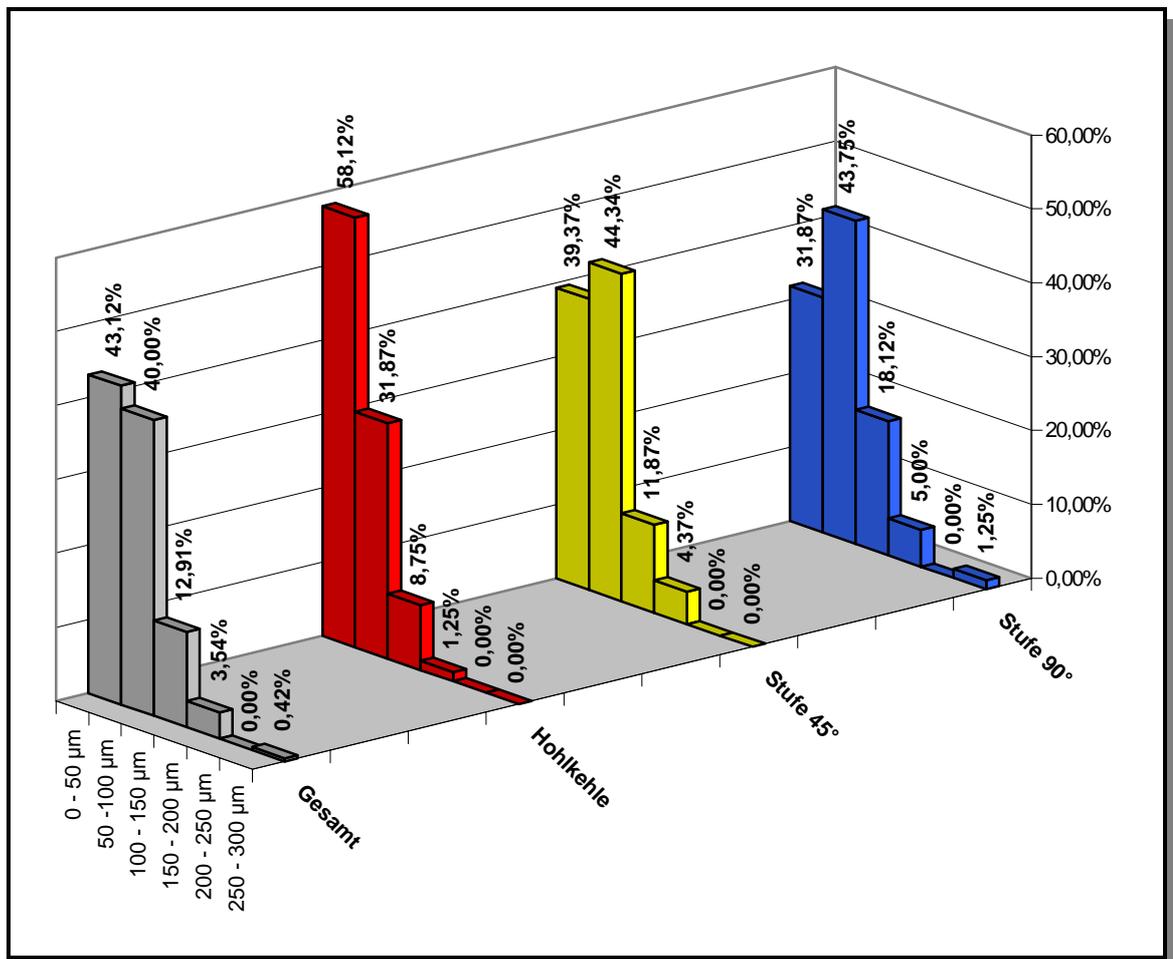


Abbildung 16: Absolute Häufigkeit der Messwerte pro Messintervall in Prozent
 grau = Messwerte insgesamt (N = 480)
 rot = Messwerte Hohlkehhlpräparation (N = 160)
 gelb = Messwerte Stufenpräparation mit Abschrägung 45° (N = 160)
 blau = Messwerte Stufenpräparation rechtwinklig 90° (N = 160)

Ordnet man die erhaltenen Messwerte dieser Untersuchung, die zunächst ein rein quantitatives Merkmal darstellen, bestimmten Größenordnungsbereichen zu, so lassen sich erste qualitative Tendenzen erkennen.

Orientiert an den Forderungen aus werkstoffkundlichen Untersuchungen erfolgte eine Einteilung in Intervalle von 50 μm . Die insgesamt sechs erhaltenen Größenintervalle ermöglichen sowohl eine Zuordnung der Messwerte bezüglich der ursprünglich von DREYER- JORGENSEN [1958] geforderten 50 μm Randspaltbreite als auch der von MARXKORS [1988] als klinisch akzeptabel angesehenen Randschlussgenauigkeit von maximal 200 μm .

Von den insgesamt 480 erhobenen Messwerten dieser Untersuchung unabhängig von angewandten Präparationsverfahren und Abformmaterial zeichnen 96,03 % der Werte (absolute Häufigkeit 478) in einem Größenintervall von 0 – 200 μm . Orientiert an den Forderungen von MARXKORS würden somit 58 von 60 in dieser Studie angefertigten Vollgusskronen einem klinisch adäquaten Qualitätsstandard entsprechen. Bezüglich der von DREYER-JORGENSEN postulierten 50 μm Randspaltbreite ist festzustellen, dass 43,12 % aller Messwerte (absolute Häufigkeit 207) einem Größenintervall von 0 – 50 μm zuzuordnen sind.

Vergleicht man die im vorseitigen Diagramm farbig unterlegten Säulengruppen (Zuordnung der Messwerte resultierend aus der Hohlkehlpräparation = *rot* / Stufenpräparation mit Abschrägung 45° = *gelb* / Stufenpräparation rechtwinklig 90° = *blau*) miteinander, so lässt sich bereits an dieser Stelle eine qualitative Graduierung formulieren.

Die Messwerte als Resultat der Hohlkehlpräparation zeigen in ihrer Zuordnung zu den vorgegebenen Größenintervallen eine eindeutig höhere Präsenz im Bereich kleinerer Randspalten als die Werte der Stufenpräparation mit Abschrägung 45° und der Stufenpräparation rechtwinklig*. Somit ist die Ausgestaltung einer zervikalen Hohlkehle als Präparationsart, wie in dieser Untersuchung praktiziert, als das signifikant bessere Präparationsverfahren zu bezeichnen.

Bezüglich der Zuordnung erreichter Messergebnisse folgt der Hohlkehlpräparation innerhalb der zu vergleichenden Präparationsverfahren die Stufe mit 45° Abschrägung.

Die beiden oben angesprochenen Präparationsarten entsprechen hinsichtlich der unter klinischen Bedingungen gewonnenen Messergebnisse in vollem Umfang der von MARXKORS als adäquat bezeichneten maximalen Randspaltbreite von 200 μm .

* Kruskal-Wallis H Test Statistics; Asymp. Sig. < 0,001

Die größten gemessenen Werte für die erreichte Randspaltbreite innerhalb der zu bewertenden Verfahren liefert die Präparation einer rechtwinkligen Stufe. Sie ist somit das Schlußlicht in der Reihenfolge der qualitativ zu bewertenden Präparationstechniken. Zwei der insgesamt 160 ermittelten Messergebnisse dieses Verfahrens liegen außerhalb der von MARXKORS als Obergrenze formulierten 200 μm .

	HOHLKEHLE N = 160	STUFE 45° N = 160	STUFE 90° N = 160
0 - 50 μm	93 Messwerte 58,12%	63 Messwerte 39,37%	51 Messwerte 31,87%
50 - 100 μm	51 Messwerte 31,87%	71 Messwerte 44,34%	70 Messwerte 43,75%
100 - 150 μm	14 Messwerte 8,75%	19 Messwerte 11,87%	29 Messwerte 18,12%
150 - 200 μm	2 Messwerte 1,25%	7 Messwerte 4,37%	8 Messwerte 5,00%
200 - 250 μm	0 Messwerte 0,00%	0 Messwerte 0,00%	0 Messwerte 0,00%
250 - 300 μm	0 Messwerte 0,00%	0 Messwerte 0,00%	2 Messwerte 1,25%

Abbildung 17 : Absolute Häufigkeit der Messwerte pro Messintervall

5.2 Präparationsverfahren im direkten Vergleich

Die Grafik in Abbildung 18 zeigt die drei unterschiedlichen Präparationsverfahren im direkten Vergleich. Jeweils als Boxplot dargestellt sind die ermittelten Messwerte eines Präparationsverfahrens. (N = 160)

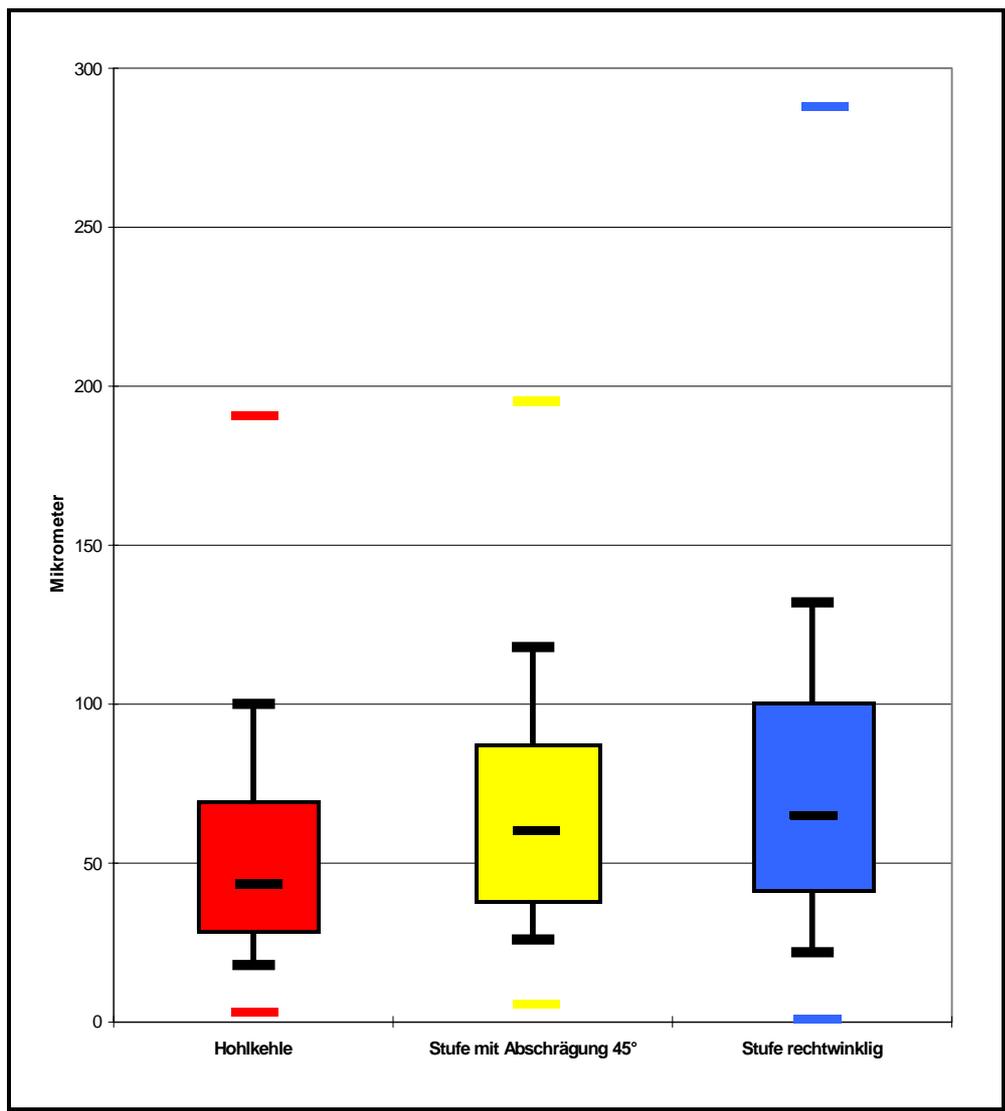
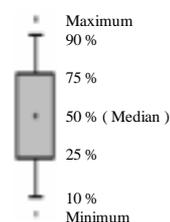


Abbildung 18 :

Präparationsarten im direkten Vergleich.
 Jeweils alle Messdaten einer Präparationsart
 (N = 160) dargestellt in Boxplots.
 ←→ = Trendlinie linear



Die Vorseitig gewählte Darstellung der Messergebnisse in Boxplots trägt der Tatsache Rechnung, dass die in dieser Untersuchung ermittelten Messreihen pro Präparationsverfahren bezüglich ihrer Standardabweichung um den Mittelwert nicht der Normalverteilung entsprechen. Betrachtet man die Boxplots denen jeweils der Minimalwert, Maximalwert und Median der entsprechenden Ergebnisse beigefügt wurde, so entsteht ein Eindruck bezüglich der internen Verteilung der ermittelten Messwertgrößen. Trägt man die so erhaltenen Perzentile entsprechend ihrer inhaltlichen Aussage, nämlich den Messergebnissen in Mikrometer, an einer entsprechenden Größenskala an so wird es möglich qualitative Aussagen zu treffen. Der Vorteil dieser Art von Betrachtung ist, dass Messwerte, die als sogenannte Ausreißer zu betrachten, sind nicht berücksichtigt werden.

Wie bereits im vorherigen Abschnitt formuliert, ergibt sich auch für diese Betrachtungsweise eine qualitätsorientierte Rangfolge innerhalb der zu vergleichenden Präparationsverfahren*.

Die ermittelten Randspaltgrößen der zervikal zirkulär angelegten Hohlkehle sind bezüglich der Streubreite der Messwerte im Boxplot, (Interquartilabstand $29 - 69 \mu\text{m}$) als auch des ermittelten Medians von $45 \mu\text{m}$ als die eindeutig besseren zu bewerten.

An zweiter Stelle rangiert die Stufe mit Abschrägung deren Messergebnisse einer größeren Streuung unterliegen (Interquartilabstand $38 - 87 \mu\text{m}$) und im Niveau über denen der Hohlkehlpräparation zu liegen kommen. Der Median aus den Ergebnissen dieses Präparationsverfahrens zählt $60 \mu\text{m}$.

An dritter und letzter Stelle der in dieser Studie unter klinischen Bedingungen verglichenen Präparationsarten steht die rechtwinklige Stufenpräparation. Mit einem Interquartilabstand von $41 - 100 \mu\text{m}$ ist die Streuung der Messwerte im Boxplot hier am größten. Der ermittelte Median von $67 \mu\text{m}$ für diese Serie unterstreicht die vorgenommene Zuordnung.

Mithilfe der umseitig abgebildeten Grafik soll der Versuch unternommen werden, die bis dahin im Ergebnisstil abstrakt formulierten Bewertungen einer räumlichen Darstellungsweise zuzuführen. Abbildung 19 stellt die erreichten Ergebnisse von Verfahren 1 Hohlkehlpräparation, Verfahren 2 Stufenpräparation mit Abschrägung 45° und Verfahren 3 Stufenpräparation rechtwinklig in einer Netzgrafik dar.

* Kruskal-Wallis H Test Statistics; Asymp. Sig. < 0,001

Zu sehen ist hier der Bezug der jeweiligen Messstelle zum ideellen Nullpunkt (absolute Kongruenz von Kronenrand und Präparationsgrenze). Basierend auf dem Median der Messreihe einer Messstelle ist der imaginäre Verlauf des Kronenrandes visualisiert.

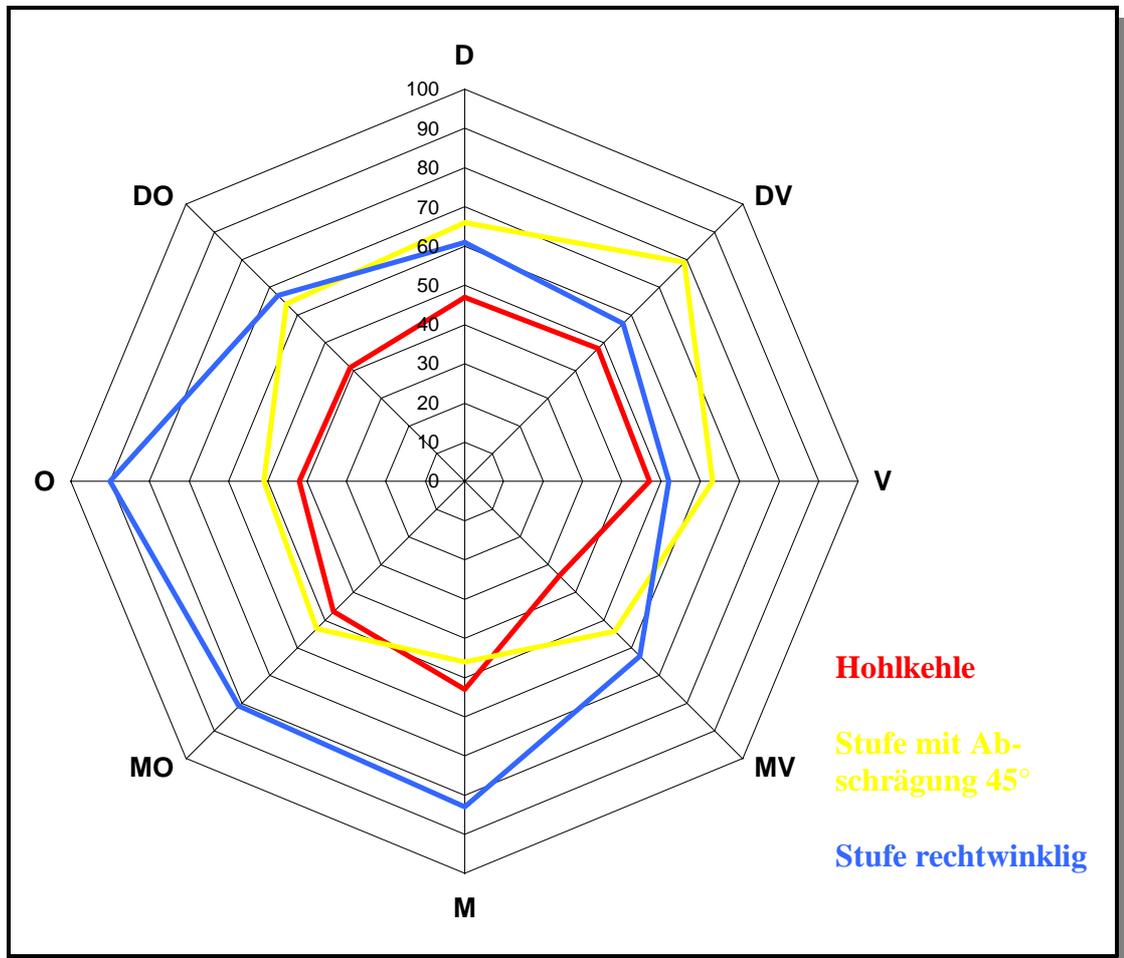


Abbildung 19 : Imaginäre Lage der Kronenränder der drei Präparationsverfahren
 N gesamt = 480
 N pro Präparationsart = 160
 Größenangabe in μm
 V = vestibulär DV = distovestibulär D = distal DO = distooral O = oral
 MO = mesiooral

5.3 Ergebnisse differenziert nach Lokalisation der Messstelle

Zur Verdeutlichung der Spannweite (Streuungsmaß) der einzelnen Werte an den jeweiligen Messstellen dient Abbildung 20.

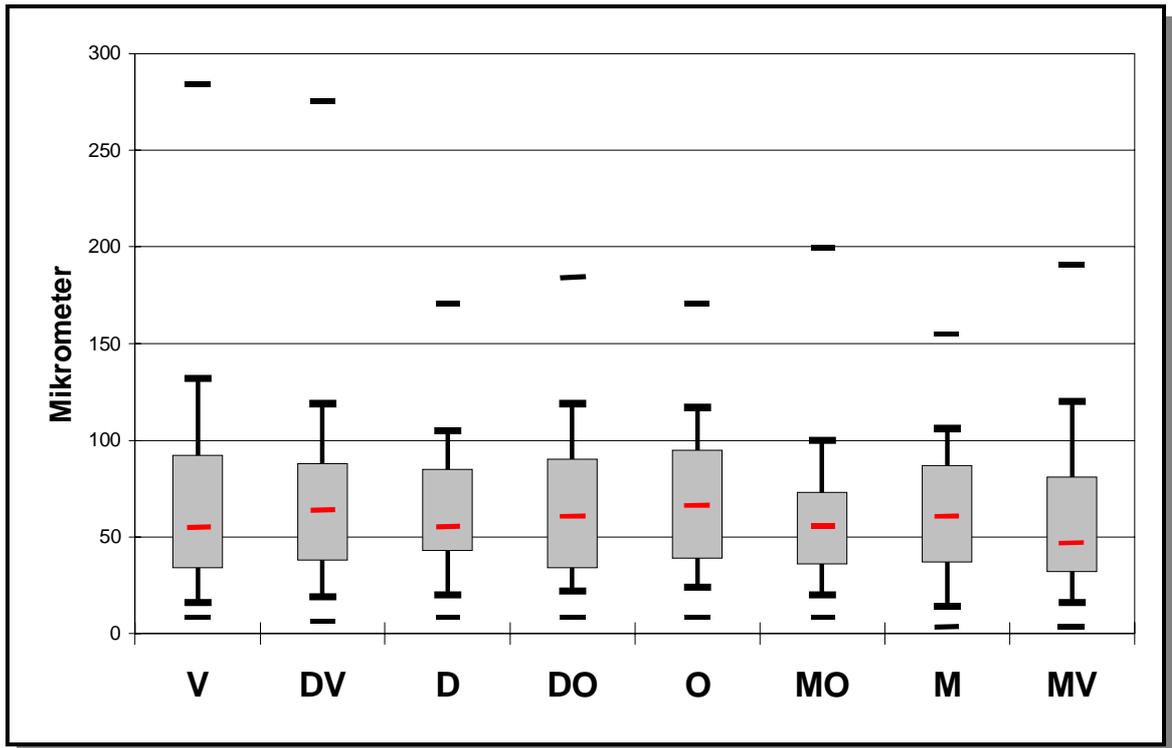
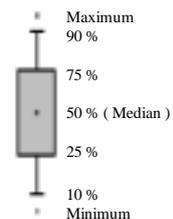


Abbildung 20: Verteilung der Messergebnisse bezogen auf die einzelnen Messstellen, unabhängig vom angewendeten Präparationsverfahren und dem verwendeten Abformmaterial, dargestellt in Boxplots. (N pro Messstelle = 60)



V = vestibulär DV = distovestibulär D=distal DO = distooral
O = oral MO = mesiooral M = mesial MV = mesiovestibulär

Bemerkenswert an dieser Grafik erscheint, dass die größten Streubreiten der Messwerte an Zahnflächen zu finden sind, die aus behandlerischer Sicht und unter klinischen Bedingungen, den besten therapeutischen Zugang gewähren. Eigentlich würde man hier, aufgrund der oben genannten Voraussetzungen, das konstanteste Ergebnis im Sinne der kleinsten Streuung erwarten.

Entsprechend der in Abbildung 21 aufgetragenen Messwerte als Boxplots wurde eine Reihung der Messstellen vorgenommen, die der Streuung der erreichten Randspaltbreiten innerhalb des 25% - 75% Dezils und 10% - 90% Dezils Rechnung trägt.

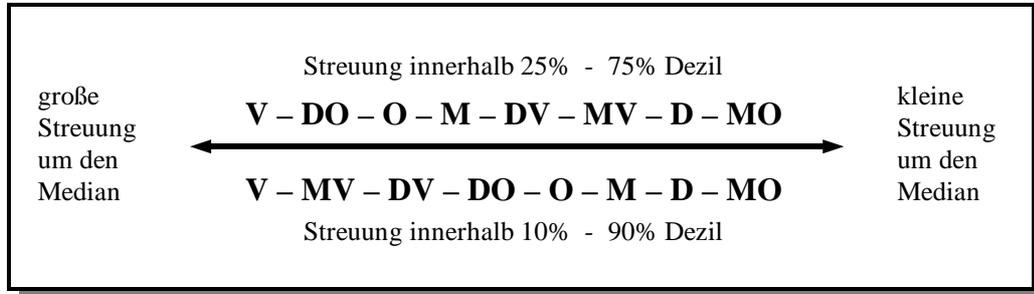


Abbildung 21 : Reihenfolge der Messstellen im Sinne der Streuung der ermittelten Messergebnisse.

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln des Ergebnisteils bestätigt sich auch in der differenzierten Betrachtung der Messergebnisse bezüglich der Messstellen das erreichte Qualitätsniveau.

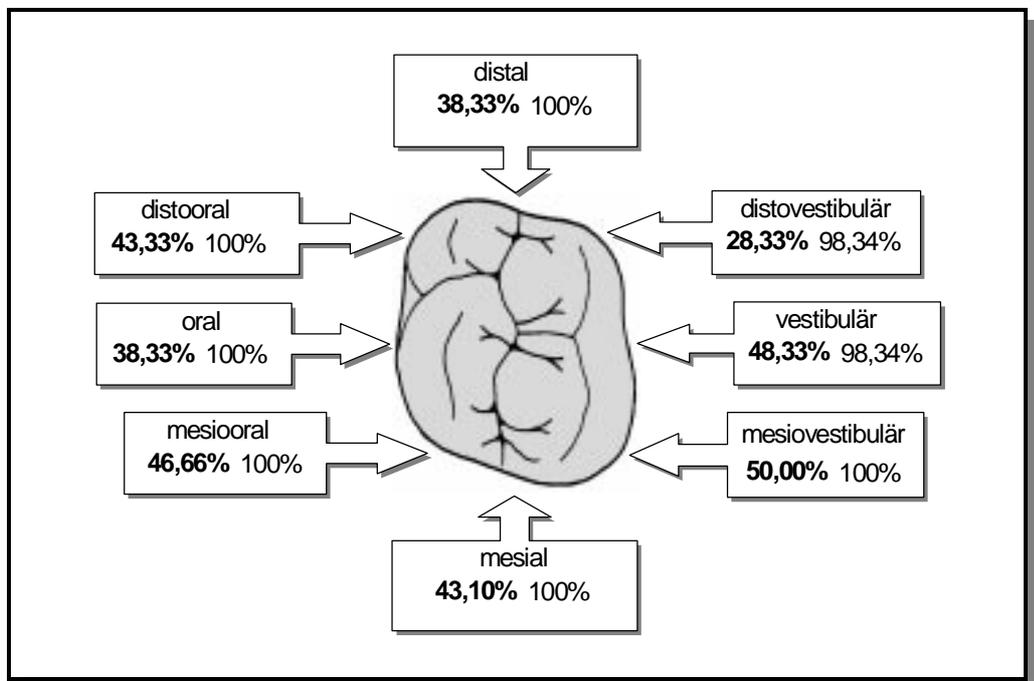


Abbildung 22 : Absolute Häufigkeit der Messwerte pro Messintervall in Prozent je Messstelle
 fett = Intervall 0 - 50 µm / normal = Intervall 0 - 200 µm
 (N pro Messstelle = 60)

5.4 Ergebnisse in Abhängigkeit der verwendeten Abformmaterialien

Die absolute Häufigkeitsverteilung der gemessenen Werte in Abhängigkeit vom verwendeten Abformmaterial in Prozent pro Messintervall kann der Abbildung 23 entnommen werden.

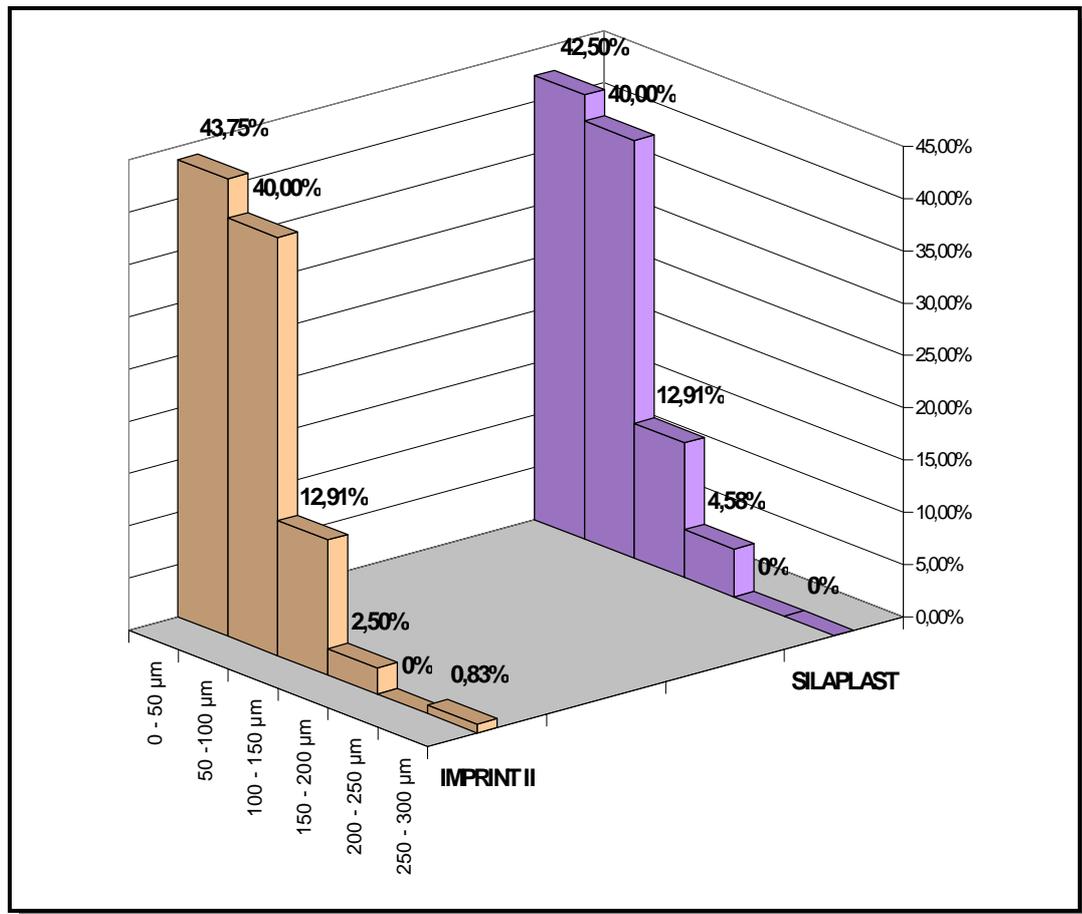


Abbildung 23 : Absolute Häufigkeit der Messwerte in Abhängigkeit vom verwendeten Abformmaterial in Prozent pro Messintervall
 Messwerte insgesamt (N = 480)
 beige = Messwerte als Resultat der Imprint II – Abformung (N = 240)
 violett = Messwerte als Resultat der Silaplast – Abformung (N = 240)

Betrachtet man die insgesamt 480 in dieser Untersuchung gewonnenen Messwerte, so sind je 240 den zur Abformung der präparierten Zähne verwendeten Abformmaterialien zuzuordnen. Wie bereits im Kapitel Versuchsdurchführung beschrieben, wurde jeder Kronenstumpf intraoral nach der Methode der Korrekturabformung zweizeitig abgeformt.

Die hierbei benutzten Silikonabformmaterialien unterscheiden sich prinzipiell in der Art der Vernetzung dem Anmischverfahren und dem Preis. Imprint II ist ein additionsvernetzendes und Silaplast ist ein kondensationsvernetzendes Silikon.

Vergleicht man die als Resultat aus unterschiedlichen Abformmaterialien gewonnenen Datenmengen bezüglich ihrer Zuordnung zu vorgegebenen Größenintervallen, wie vorseitig dargestellt, so lassen sich keine deutlichen Qualitätsunterschiede verzeichnen*.

Im Intervall von 0 - 50 μm ist die quantitative Präsenz der mit Imprint II – Abformungen gewonnenen Messergebnisse um 1,26 Prozentpunkte höher als die von Silaplast. In der Größenordnung 50 – 100 μm und 100 – 150 μm ist die Verteilung identisch. In Segment 4 des Diagramms, 150 – 200 μm , ist die quantitative Zuordnung der Messwerte als Resultat der silaplastabgeformten Zahnkronen um 2,09 % höher als die von Imprint II. Im Intervall 200 – 250 wurden keine Werte gemessen. 0.84 % der gemessenen Werte von Imprint II entfallen auf einen Randspaltbereich von 250 – 300 μm .

	IMPRINT N=240	SILAPLAST N=240
0 - 50 μm	105 Messwerte 43,75%	102 Messwerte 42,50%
50 -100 μm	96 Messwerte 40,00%	96 Messwerte 40,00%
100 - 150 μm	31 Messwerte 12,91%	31 Messwerte 12,91%
150 - 200 μm	6 Messwerte 2,50%	11 Messwerte 4,58%
200 - 250 μm	0 Messwerte 0%	0 Messwerte 0%
250 - 300 μm	2 Messwerte 0,83%	0 Messwerte 0%

Abbildung 24 : Absolute Häufigkeit der Messwerte pro Messintervall

* Wilcoxon Test Statistics; Asymp. Sig. < 0,001

Nivelliert man die beiden Datensätze bezüglich der nicht vorhandenen Normalverteilung der Standardabweichung um den Mittelwert und stellt sie in Boxplots dar, so lassen sich doch gewisse qualitative Unterschiede beschreiben. Unabhängig von den extrem hohen und niedrigen Messergebnissen lassen sich nun die Daten innerhalb der Perzentile hinsichtlich ihrer Streuung um den Mittelwert, hier Median beurteilen.

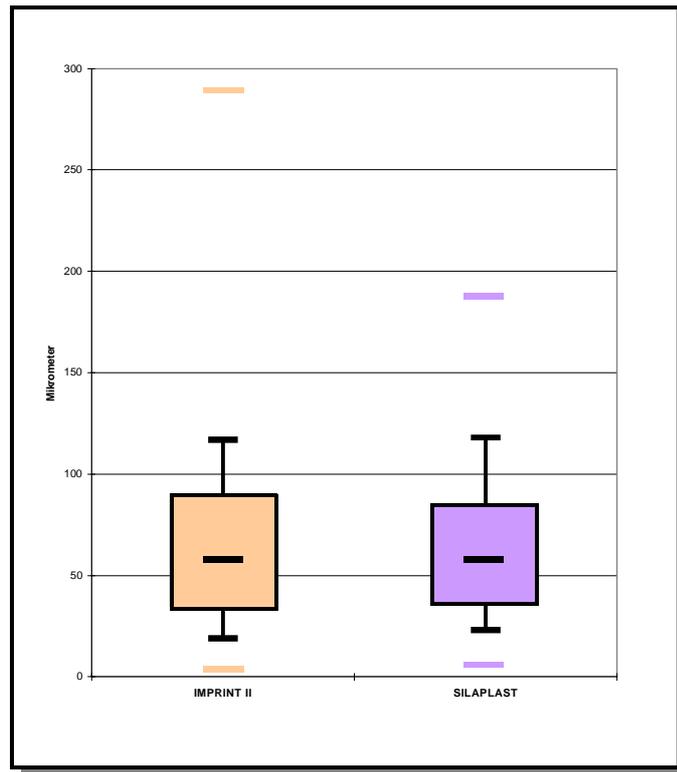
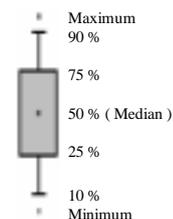


Abbildung 25 :

Abformmaterialien im direkten Vergleich.
Jeweils alle Messdaten als Resultat eines
Abformmaterials(N = 240) dargestellt in
Boxplots.

beige = Imprint II , additionsvernetzend
violett = Silaplast , kondensationsvernetzend



Insgesamt erscheint die Streubreite der Messwerte nach Silaplastabformung, hier dargestellt als Interquartilabstand (violette Box, $37 \mu\text{m} - 85 \mu\text{m}$) geringer als bei der zum Vergleich gegenübergestellten beige Box ($35 \mu\text{m} - 90 \mu\text{m}$), deren Messergebnisse resultieren aus Imprint II – Abformungen*. Das bedeutet, dass das Streuungsmass um den Median für Silaplast geringer ist, obwohl der Median für beide zu vergleichende Messwertreihen annähernd gleich groß ist, nämlich $56 \mu\text{m}$ in der Serie für Silaplast und $57 \mu\text{m}$ für Imprint II.

* Wilcoxon Test Statistics; Asymp. Sig. < 0,001

Unterstützung findet diese Tendenz, wenn auch nur gering, in der Betrachtung der Streuung innerhalb der 10 % und 90 % Dezile. Hier zeichnet Silaplast mit einer Spannweite von 23 μm – 118 μm und Imprint II mit 19 μm – 117 μm .

Ungeachtet der soeben formulierten Qualitätsunterschiede ist zu vermerken, dass sowohl Silaplast als K-Silikon als auch Imprint II als A-Silikon, wie in dieser Studie unter klinischen Bedingungen am Patienten angewendet, aufgrund ihrer Dimensionstreu Abformergebnisse liefern, die es ermöglichen restaurativen Zahnersatz zu fertigen, der selbst hohen Ansprüchen aus theoretisch, werkstoffkundlichen Untersuchungen gerecht wird.

Ob und inwieweit sich Unterschiede zwischen Imprint II und Silaplast bezüglich der Morphologie der abzuformenden Struktur feststellen lassen ist fraglich. Abbildung 26 zeigt die Beziehung der Abformmaterialien zu den in dieser Untersuchung angewandten Präparationsverfahren und deren unterschiedlichen zervikalen Morphologien. Die Interpretation der Grafik lässt jedoch keine Aussage zu, die beispielsweise eines der beiden Materialien als das besser geeignete für eine rechtwinklige Stufe erkennen ließe. Grundsätzlich bestätigen sich auch hier die bereits formulierten Ergebnisse für die klinisch praktizierten Präparationsverfahren. Im Sinne der Abformmaterialien bestätigt sich die Bewertung dahingehend, dass auch in der differenzierten Betrachtung der einzelnen Präparationsverfahren, Silaplast als das Material hervorgeht, welches im Bereich der 10% - 90 % Dezile die kleinere Streuung um den Median aufweist, und somit in dieser Serie das konstantere Ergebnis liefert*.

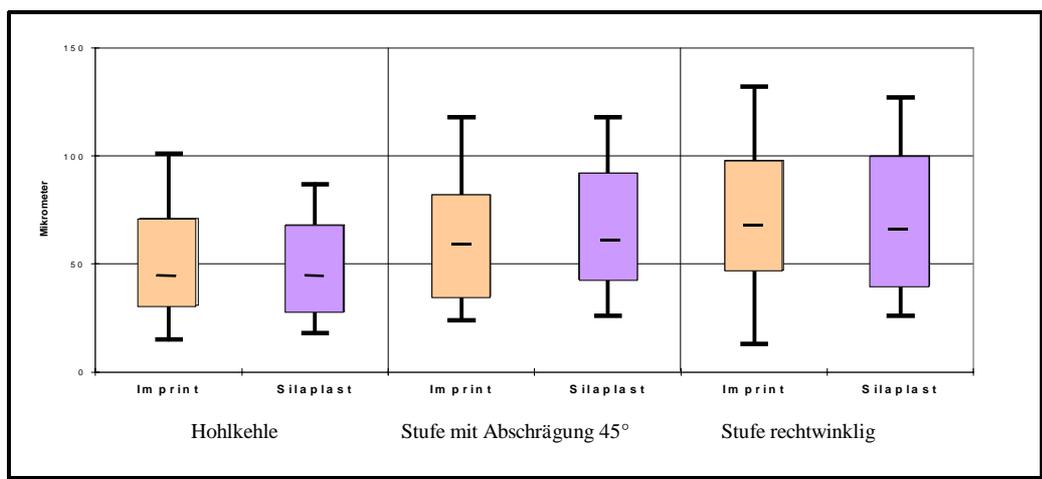


Abbildung 26.: Abformmaterialien im direkten Vergleich, differenziert nach Präparationsverfahren

* Wilcoxon Test Statistics; Asymp. Sig. < 0,001

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Ergebnisse aus dem Vergleich der Präparationsverfahren

Ziel dieser Arbeit war es festzustellen, wie sich unterschiedliche Präparationsverfahren und Abformmaterialien auf die Randschlussgenauigkeit unter klinischen Bedingungen auswirken. Anhand der vorgestellten Ergebnisse kann hinsichtlich der in dieser Untersuchung praktizierten Präparationsarten eine Antwort auf die eingangs gestellte Frage gegeben werden.

Die Hohlkehlpräparation erwies sich sowohl im Vergleich zu der Stufenpräparation 90° als auch zur Stufenpräparation mit 45° Abschrägung als das signifikant bessere Verfahren. Die im Median erreichte Randspaltbreite von 45 Mikrometer, als Ergebnis der zervikalen Hohlkehlgestaltung, abgeformt mit einem Silikon im zweizeitigen Korrekturverfahren, steht in dieser Studie an erster Stelle. Dicht gefolgt, aber immerhin mit einem Abstand von 15 Mikrometer, konnte sich die Stufenpräparation mit einer im Median erreichten Randspaltbreite von 66 Mikrometer auf Rang zwei platzieren. Mit einem Median von 75 Mikrometer wurden bei der rechtwinkligen Stufenpräparation deutlich schlechtere Randschlussgenauigkeiten gemessen.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass aus klinischer Sicht der Hohlkehlpräparation, aufgrund der besseren Randschlussgenauigkeit gegenüber den anderen Verfahren der Vorzug zu geben ist. Weiterhin wird dies auch daran deutlich, dass bei der Ausgestaltung einer zervikalen Hohlkehle als Präparationsart 58,12 % der gemessenen Werte (absolute Häufigkeit = 93) in einem Messintervall der Größenordnung 0 – 50 μm zu verzeichnen sind. Bei den zum Vergleich herangezogenen Präparationsverfahren rechtwinklige Stufe und Stufenpräparation mit 45° Abschrägung waren jeweils nur 31,87 % (absolute Häufigkeit = 51) und 39,37 % (absolute Häufigkeit = 63) der gemessenen Werte in diesem Intervall vertreten.

Im Gegensatz zu Untersuchungen von HAAS, WEGSCHNEIDER und BRATSCHKO [1988] die im Labor hergestellte Kronen und deren gemessene Randspalten bezüglich der unterschiedlichen Präparationsrandgestaltung verglichen und dabei keinen sich signifikant auf die zervikale Diskrepanz auswirkenden Unterschied fanden, ist in dieser klinisch angelegten Studie sehrwohl ein sich qualitativ manifestierender Gradient wie oben beschrieben zu verzeichnen.

Orientiert an den Forderungen von DREYER JORGENSON, REHBERG, die einen Randspalt von 50 Mikrometer für akzeptabel halten, kann gesagt werden, dass man diesem Anspruch am ehesten mit der Präparationsart aus Verfahren 3 dieser Untersuchung, nämlich der Hohlkehle, gerecht wird. Legt man den von MARXKORS als adäquat angegebenen Toleranzbereich von 200 μm Randspaltbreite als Maßstab zugrunde, so können sich alle hier angewandten Präparationsverfahren mit ihm messen. 100 % der Werte der Hohlkehlpriparation (absolute Häufigkeit = 160) als auch der Stufe mit Abschrägung zeichnen in diesem Intervall.

Lediglich die rechtwinklige Stufenpräparation liegt mit 1,25 % der Messwerte (absolute Häufigkeit = 2) über den geforderten 200 μm . Alles in allem lassen sich mit den in dieser Studie untersuchten Präparationsverfahren Ergebnisse erzielen, die einer qualitativen Beurteilung bezüglich ihrer Passgenauigkeit standhalten.

6.2 Diskussion der Ergebnisse aus dem Vergleich der Abformmaterialien

Bezüglich der in dieser Untersuchung verwendeten Silikonabformmaterialien, Imprint II Vorabdruckmaterial / Imprint II Korrekturmaterial additionsvernetzend und Silaplast / Silasoft N kondensationsvernetzend, ist ein sich signifikant, auf die Randspaltgenauigkeit von gegossenen Restaurationen, auswirkender Qualitätsunterschied zu verzeichnen. Die Medianwerte für beide Messreihen sind allerdings mit 57 μm in der Serie für Imprint II und 56 μm für Silaplast annähernd identisch.

Die zum Vergleich herangezogenen Silikonabformmaterialien dieser Untersuchung zeigen entgegen allen Erwartungen keine deutlichen Unterschiede bezüglich deren Auswirkung auf die Qualität der Randschlussgenauigkeit von gegossenen Restaurationen. Obwohl deren implizierte Qualitätsgüte durch die Ansiedlung im Marktpreissegment dies erwarten ließe.

Der additionsvernetzende Silikonabformwerkstoff Imprint II der Firma 3M zählt mit zu den teuersten Materialien dieser Branche, der Nettoverkaufspreis ab Werk ist für das Grundsortiment wie hier verwendet, also 10 Kartuschen Vorabdruckmaterial plus 10 Kartuschen Korrekturmaterial, etwa 6 mal so teuer wie das in gleichem Mengenansatz verwendete, eher als low-cost Material einzuschätzende Silaplast / Silasoft N der Firma Detax, kondensationsvernetzend.

Bezüglich der Methodik zur Bereitstellung für die intraorale Verarbeitung kann für Imprint II ein Vorteil in Sinne eines gleichbleibenden Qualitätsstandards angeführt werden. Das aus zwei Komponenten bestehende Abformmaterial, Basismaterial und Katalysator, werden mithilfe moderner Kartuschenmischgeräte vermengt. Der Vorteil dieser Automixsysteme ist eine konstante Mischqualität, die es erlaubt in der Menge blasenfrei und genau zu dosieren. Abweichungen vom vorgeschriebenen Mischungsverhältnis die Auswirkungen auf die Reaktionskinetik und die physikalischen Eigenschaften haben werden so vermieden. Die Materialien kommen nicht wie bei der manuellen Methode in Kontakt mit den Händen oder eines Anmischpathels. Hierdurch werden Einflüsse durch evtl. Verunreinigungen und denkbare Kontaminationen vermieden. Außerdem verbirgt sich in der Verarbeitung der Abformmaterialien mithilfe der selbstmischenden Kartuschen ein Vorteil im Sinne einer Zeitersparnis. Jedoch gilt zu bedenken, dass das Aufkommen an Kunststoffmüll bei einem Füllgewicht von 48 ml pro Kartusche nicht unerheblich ist.

Das seit 1965 in zahnärztlichem Gebrauch befindliche Silikonabformmaterial Silaplast / Silasoft muß im Gegensatz hierzu nach herkömmlicher Art und Weise per Hand vom Assistenzpersonal angemischt werden. Die Dosierung und Anmischung kann hierbei variieren, selbst wenn immer die selbe Person mit dieser Aufgabe betraut wird. Als Resultat können sich nach MEINERS [1980] Schwankungen ergeben die zu messbaren Abweichungen führen.

Inwieweit sich aus den unterschiedlichen Bereitstellungsverfahren qualitative Auswirkungen auf die Randspaltbreite ableiten lassen wurde unter anderem von KONIARIS [1999] untersucht. Als Ergebnis für die Abformmethodik konnte in dieser Studie festgestellt werden, dass die Verwendung eines Automixgeräts für den Abformerfolg und die sich daran anschließenden Arbeitsschritte hin zur definitiven Krone als positiv zu bewerten sind. Im Vergleich zu Messergebnissen resultierend aus manueller Anmischung konnten bessere Randspaltbreiten ermittelt werden.

Diese Aussage lässt sich für die in dieser Untersuchung verwendet und verglichenen Silikonabformmaterialien nicht verifizieren. Gegenteilig wurde hier unter klinischen Bedingungen festgestellt, dass das manuell zu verarbeitende Silaplast eine kleinere Streuung der gemessenen Randspalten und einen kleineren Medianwert in der Serie aufweist.

6.3 Diskussion der Versuchsmethode

Die Ursache für das beinahe vollständige Fehlen von Untersuchungen zur in vivo erreichbaren Randschlussgenauigkeit von gegossenen hochgoldhaltigen Restaurationen im Sinne von Kronen und Brückenersatz dürfte vor allem an der Schwierigkeit der Versuchsdurchführung liegen. Im Unterschied zu Versuchsmodellen unter Laborbedingungen ist eine reproduzierbare klinische Ausgangssituation nicht herstellbar und in der Summe nicht verfügbar.

Es war bereits äußerst problematisch Patienten zu finden, die bereit waren nach gesicherter Indikation für die Extraktion eines Zahnes, diesen zur Aufnahme einer Krone präparieren und abformen zu lassen. Letztendlich gelang es jedoch mithilfe von insgesamt 21 Patienten 30 Zähne in diese Untersuchung mit einzubeziehen. Pro zu bewertender Präparationsart standen also 10 Zähne zur Verfügung. Gemessen an Untersuchungen mit werkstoffkundlicher Thematik ist die Anzahl der erhaltenen Messwerte als eher gering zu betrachten, jedoch war der hier im Vordergrund stehende klinische Aspekt limitierend.

Es war zu erwarten, dass die Schwierigkeiten, die eine Präparation und zweifache Abformung eines bereits weitestgehend kariös zerstörten oder stark parodontal geschädigten Zahnes, sich letztlich negativ auf die Passgenauigkeit der angefertigten Gussobjekte auswirkten. Diese Vermutung hat sich jedoch nach qualitativer Auswertung der gewonnenen Messergebnisse so nicht bestätigt.

Insgesamt zeigte sich, dass es klinisch offensichtlich entscheidend ist welches Präparationsverfahren zum Anlegen einer zervikal zirkulären Präparationsgrenze Verwendung findet. Die im Ergebnisteil zu dieser Arbeit formulierte Graduierung innerhalb der zu vergleichenden Präparationsverfahren ist eindeutig. Auch das Qualitätsniveau im Sinne eines kleinen Randspalts ist gemessen an den zugrundeliegenden klinischen Kautelen dieser Studie als auch im Vergleich zu Ergebnissen aus Laboruntersuchungen als gut zu bezeichnen.

Bezüglich der in dieser Untersuchung verwendeten Silikonabformmaterialien zeigte sich, dass es unter klinischen Bedingungen offensichtlich nicht so entscheidend ist welches Material zu Anwendung kommt.

Beide Materialien liefern über ihre implizierte Qualitätsgüte Abformergebnisse die es zulassen Zahnersatz zu fertigen der entsprechenden Anforderungen werkstoffkundlicherseits gerecht wird. Jedoch gilt zu bemerken, dass mit einem herkömmlichen K-Silikon in Verbindung mit einer Korrekturabformung in der Serie geringfügig bessere Passgenauigkeiten der Gussobjekte zu realisieren sind. Für die schlechteren Ergebnisse der Korrekturabformungen mit dem A-Silikon ist möglicherweise dessen ausgeprägte Hydrophobie verantwortlich.

Diese unter klinischen Bedingungen gefundenen Ergebnisse bezüglich der zu vergleichenden Silikonabformmaterialien korrelieren weitestgehend mit den Ergebnissen von WÖSTMANN, DOHLE und RETTBERG [1994]. Diese verglichen die zur Zeit in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Abformmaterialien bezüglich der in vivo erreichbaren Abformgenauigkeit.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine maximale Randschlussgenauigkeit im Sinne einer minimalen zervikalen Diskrepanz von 50 μm , wie sie DREYER – JORGENSEN [1958] postuliert hat, mit keiner Präparations–Abformkombination in Gänze klinisch realisiert werden konnte. Jedoch zeichnen 58,12 % aller gemessenen Werte der Hohlkehlpräparation in dieser Größenordnung.

Wie in dieser In-vivo-Studie gezeigt werden konnte, ist es mit den heute zu Verfügung stehenden Methoden und Materialien auch unter klinischen Bedingungen möglich ist, ein Qualitätsniveau zu erreichen, welches den Ansprüchen aus werkstoffkundlichen Untersuchungen standhält. Wie also lässt sich die Diskrepanz zwischen den in der Einleitung zu dieser Arbeit angeführten Studien von ERDMANN [1972] , DÜSTERHUS [1980] , SPIEKERMANN [1986] und anderen Autoren, die Nachuntersuchungen an extrahierten mit Kronen versehenen Zähnen vornahmen und Randspaltbreiten von 90 – 480 μm im Durchschnitt ermittelten, erklären?

Die einzelnen Arbeitsschritte von der Präparation und Abformung der zur Aufnahme einer Krone vorgesehenen Zähne, sowie die Herstellung der Gussstücke im Dentallabor, bis hin zum definitiven Einsetzen einer gegossenen Restauration ergeben eine Arbeitskette. Deren Erfolg ist in erster Linie vom behandelnden Zahnarzt und vom ausführenden Zahntechniker bestimmt. Die Ursache für die Diskrepanz zwischen Laborwerten und klinischen Nachuntersuchungen sollte hierbei nicht in den zur Anwendung kommenden Arbeitsverfahren zu finden sein, denn diese sind weitestgehend standardisiert. Im Gegensatz hierzu ist das Betätigungsfeld des Behandlers, die Mundhöhle des Patienten mit vielen sich negativ auswirkenden Variablen ausgestattet. Sie verbirgt in keinster Weise einen festen Standart im Sinne einer genormten Arbeitsgrundlage.

Das Cavum oris ist durch das feuchte Milieu, die beengte räumliche Situation, die schlechten Licht- und Sichtverhältnisse, die enge räumliche Beziehung der zu präparierenden Zähne zueinander, die schwierige Schaffung einer definierten Präparationsgrenze, sowie deren genaue Abformung gekennzeichnet. Diese wird insbesondere durch die Feuchtigkeit innerhalb des Sulcus, durch eventuell auftretende Blutungen und die Problematik der Kontrolle einer subgingival gelegten Präparationsgrenze erschwert. Nicht zu vergessen, die Stresssituation, der sich der Patient während einer solchen Behandlung ausgesetzt sieht. Bei jedem einzelnen Arbeitsschritt hin zur qualitativ hochwertigen Versorgung mit Zahnersatz können sich Fehler und Ungenauigkeiten einstellen, deren Summe möglichst klein zu halten ist.

Parallel zur Kette der Arbeitsverfahren existiert die Werkstoffkette, die weitere Fehlerquellen in sich verbirgt. Beginnend mit der Auswahl geeigneter diamantierter Schleifkörper und Abformmaterialien durch den Zahnarzt, über die zur Verwendung kommenden Laborwerkstoffe, bis hin zum physikalischen Verhalten der Legierung während des zahntechnischen Gusses. Überall finden sich materialimmanente Toleranzen, die, wenn sie sich subsummieren, die Qualität einer Arbeit durchaus negativieren.

Die Passgenauigkeit einer in der Zahnheilkunde angefertigten Krone wird somit in erster Linie durch die Vermeidung von Fehlern bestimmt, die aus der Arbeits- und Werkstoffkette resultieren können.

Bezugnehmend auf das oben gesagte, sollte abschließend nicht unerwähnt bleiben, dass das Ergebnis einer Präparation, die darauffolgende Abformung und schließlich die Passgenauigkeit der fertiggestellten Zahnkrone wesentlich von der Einarbeitung des Behandlers und des zahnärztlichen Assistenzpersonals auf die verwendeten Materialien und Methoden beeinflusst wird. Daher erscheint es sinnvoll, in der täglichen Praxis ein standardisiertes Vorgehen einzuhalten, um ein routinemäßig genaues Arbeiten zu ermöglichen.

7. Zusammenfassung

Wie in zahlreichen in vitro-Untersuchungen gezeigt werden konnte, ist es mit den heute zur Verfügung stehenden Werkstoffen und technischen Verfahrensweisen möglich, Gussstücke herzustellen, deren Randschlussgenauigkeit im Bereich um 50 Mikrometer liegt.

Klinische Nachuntersuchungen an festeingesetzten Restaurationen zeigen jedoch eine erhebliche Diskrepanz zwischen theoretisch Möglichem und klinisch Erreichtem.

Randspaltmessungen an extrahierten Zähnen mit gegossenen Restaurationen ergaben durchschnittlich größere Randspaltbreiten. Werte bis zu 400 μm wurden gemessen.

Da unter Laborbedingungen angefertigter Zahnersatz in Form von Kronen und Brücken ausnahmslos bessere Ergebnisse im Bereich Dichte des zervikalen Randspalts vorweist, muß angenommen werden, dass klinische Parameter für die Diskrepanz verantwortlich zu machen sind. Entsprechend dieser Aussage wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit versucht, durch den Vergleich verschiedener Präparationsformen und unter Verwendung unterschiedlicher Abformmaterialien in vivo festzustellen, inwieweit sich unterschiedliche klinische Parameter auf das Randschlussverhalten von gegossenen Restaurationen qualitativ auswirken.

Dreißig für die Extraktion vorgesehene Zähne wurden, nach Einverständniserklärung der Patienten, in vivo präpariert, abgeformt und extrahiert. Jeweils 10 Zähne wurden mit gleicher Präparationsart zur Aufnahme einer gegossenen Restauration vorbereitet. Durch die Wahl unterschiedlicher rotierender Instrumente wurde die Präparationsgrenze als rechtwinklige Stufe, als Stufe mit 45° Abschrägung und als Hohlkehle ausgestaltet. Anschließend erfolgte die Abformung der präparierten Zähne mit zwei unterschiedlichen Materialien. Die so gewonnenen Abformungen dienten als Grundlage für alle nachfolgenden Arbeitsschritte, bis hin zur gegossenen Krone. Diese wurde auf dem extrahierten Zahn an acht definierten Punkten unter Zuhilfenahme eines Messmikroskops vermessen.

Die Auswertung der drei Präparationsverfahren zeigt eine deutlich qualitative Abstufung, abhängig von der zervikalen Randgestaltung. Der Median der Messwerte der Stufenpräparation ergibt 67 μm . Die Stufe mit Abschrägung zeigt im Median Randspaltbreiten von 60 μm . Das qualitativ beste Ergebnis verzeichnet die Hohlkehlpräparation mit 55 μm .

Das Korrekturabformverfahren mit unterschiedlichen Materialkomponenten zeigt im direkten Vergleich keine nennenswerten Qualitätsunterschiede. Jedoch ist die Streuung bei Silaplast kleiner und die somit zu erwartenden Schwankungen in der Wiedergabe der abzuformenden Struktur geringer.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen die geäußerte Vermutung, dass sich bereits durch unterschiedliche Präparationstechniken, klinisch angewandt, eine Optimierung hin zum werkstoffkundlichen Standart erreichen lässt.

8. Literaturverzeichnis

1. Berger, H.-J., Marxkors, R., Meiners, H.
Abformgenauigkeit bei ringlosen Abdrücken
Dtsch Zahnärztl Z 28, 1051-1054 [1973]
2. Biffar, R.
Klinische Nachuntersuchungen von pulvermetallurgische hergestellten Zahnersatz
Dtsch Zahnärztl Z 46, 238 – 241 [1991]
3. Biffar, R.
Zur Auswertung von Randspaltnmessungen an festsitzendem Zahnersatz
Dtsch Zahnärztl Z 46, 523 – 525 [1991]
4. Breustedt, A., Lenz, E.
Stomatologische Werkstoffkunde
Johann Ambrosius Barth Leipzig [1978]
5. Demmel, H.-J.
Der Einfluß verschiedener Zementsorten auf den Randschluß paßgenauer Kronen
Dtsch Zahnärztl Z 26, 700-705 [1971]
6. Donath, K., Roth, K.
Histologisch-morphometrische Studie zur Bestimmung des zervikalen
Randschlusses Einzel- und Pfeilerkronen.
Z Stomatol 84, 53-73 [1987]
7. Dreyer-Jorgensen, K.
Prüfergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren
Dtsch Zahnärztl Z 13, 461-469 [1958]
8. Dumfahrt, H., Schäffer, H.
Zum Dimensionsverhalten bei verschiedenen Abformverfahren mit
gummielastischen Massen in der Inlay- , Kronen und Brückentechnik.
Z Stomatol 84, 231-239 [1987]

9. Düsterhus, Th.
Untersuchungen über den zervikalen Randschluß von Gußkronen an extrahierten überkronten Zähnen
Med. Diss. Münster [1980]
10. Eichner, K.
Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartschubstanzen
Hanser München [1966]
11. Eichner, K.
Präparation und Drehzahl
Dtsch Zahnärztl Z 37, 422 [1982]
12. Eichner, K.
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Band 1, Grundlagen und Verarbeitung
Hüthig Heidelberg, 1988
13. Einfeldt, von H.
Passgenauigkeit gegossener Metallarbeiten
Dtsch Zahnärztl Z 24, 1087 – 1093 [1969]
14. Erdmann, H.P.
Untersuchung über den marginalen Randschluß von Band- und Hülsenkronen an extrahierten überkronten Zähnen
Med. Diss. Münster [1972]
15. Faucher, R.R., Nicholls, J.I.
Distortion related to margin design in porcelain-fused-to-metal restorations
J Prosthet Dent 43 [1980], 149
16. Fergal, F. N., Storrs, J.
Hypersensitivity to a dental impression material
Br Dent J 134, 244 – 246 [1973]
17. Finger, W., Lockowandt, P.
Abform- und Modellmaterial, eine funktionelle Einheit
Dtsch Zahnärztl Z 27, 620-624 [1972]

18. Franz, T.
Die elastische Rückstellung der Abformmassen und ihre Abhängigkeit von den Prüfungsbedingungen.
Dtsch Zahnärztl Z 27, 604-609 [1972]
19. Freesmeyer, W.B., Freesmeyer, B.
Der festsitzende Zahnersatz – Ergebnis einer Umfrage
Zahnärztl Welt 89, 52-62 [1980]
20. Gernet, W., Mitteldorf, J.
Untersuchungen über die Realisierbarkeit des supragingival gelegenen Kronenrandes
Dtsch Zahnärztl Z 39 [1984], 761
21. Geurtsen, W.
Der Kronen – und Füllungsrand
Dtsch Zahnärztl Z 45, Heft 7, 380 – 386 [1990]
22. Haas, M., Wegschneider, W.A., Bratschko, R.O.
Der Randspalt von metall- und nichtmetallgetragenen Keramikronen im Vergleich
Quintessenz 4, 625-633 [1988]
23. Harndt, R.
Kinemathographische Untersuchungen zum hochtourigen Bohren
Dtsch Zahnärztl Z 39, 274 [1984]
24. Hofmann, M.
Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanz unter Verwendung der Turbine
Dtsch Zahnärztl Z 16 [1961], 584
25. Hofmann, M.
Der Korrekturabdruck (ein neues Abdruckverfahren für festsitzenden Zahnersatz)
Zahnärztl Welt 66, 160-164 [1965]
26. Hofmann, M.
Abformung und Modell – Zielsetzung aus klinischer Sicht
Dtsch Zahnärztl Z 27, 85-90 [1972]

27. Holmes, J.R., Bayne, S. C., Holland, G. A., Sulik, W. D.
Considerations in measurement of marginal fit
J Prosthet Dent 62, 405 – 408 [1998]

28. Huber, H.P.
Die Einwirkung rotierender Instrumente auf die Präparationsgrenze von
Kronenstümpfen
Dtsch Zahnärztl Z 39 [1984], 795

29. Kimmel, K.
Die zahnärztliche Präparationstechnik - Grundlagen – Situationsanalyse –
Arbeitskonzept
Dtsch Zahnärztl Z 36 [1981], 619

30. Klötzer, W.T.
Die traumatische Schädigung der Pulpa bei der Überkronung
Dtsch Zahnärztl Z 39 [1984], 791

31. Koniaris, A.
Vergleich von derzeit gebräuchlichen Abformmaterialien und –techniken
Mithilfe eines Sulcus-Fluid-Modells
Med. Diss., Gießen 1999

32. Kuhner, S., Gausch, K., Favero, E.
Standardisierte Präparation der Verblendkrone für Unterricht und Praxis
Dtsch Zahnärztl Z 39 [1984], 807

33. Kulenkamp, D., Hausen, B. M., Schulz, K. H.
Berufliche Kontaktallergie durch neuartige Abdruckmaterialien in der
Zahnärztlichen Praxis (scutan und impregum)
Zahnärztl Mitt 66, 968 [1976]

34. Lacy, A.M., Bellmann, T., Fukui, H., Jendresen, Malcom, D.
Time-dependet accurary of elastomer impression materials
Part I: Condensation silicones
J. Prosthet Dent. 45, 209-215 [1981]
Part II: Polyether, polysulfides and polyvinylsiloxane
J. Prosthet Dent. 45, 329-333 [1981]

35. Lang, N.P.
Lokalisation der Präparationsgrenze im Hinblick auf die Prophylaxe von Karies- und Parodontalerkrankungen, Teil I und II Quintess
Zahnärztl Lit 30 (3) [1979], 97; 30 (4) [1979], 103
36. Langeland, K., Langeland, K.L.
Pulp reactions to crown preparations, impression, temporary crown fixation and permanent cementation
J Prosthet Dent 15 [1965], 129
37. Lehmann, K.M., Burgdorf, H.O.
Untersuchungen zu zweizeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken
(Korrekturabdruck)
Zahnärztl Welt 87, 430-433 [1978]
38. Lehmann, K.M.
Eine Umfrage: Welche Methoden werden in der zahnärztlichen Praxis für die Abformung von Kronen und Brücken angewandt ?
Zahnärztl Mitt 69, 602-612 [1979]
39. Lehmann, K.M., Hartmann, F.
Untersuchungen zur Genauigkeit von Doppelabformungen
Quintessenz 33, 985-987 [1982]
40. Lehmann, K.M., Krauth, G.
Der Randschluß von Gußkronen, hergestellt im propädeutischen Unterricht
Dtsch Zahnärztl Z 750-752 [1984]
41. Lehmann, K.M.
Abformmaterialien, Abformmethoden und Modellherstellung für Kronen und Brücken
Zahnärztl Welt 96, 914-917 [1987]
42. Lehner, C.R., Schärer, P.
Abformmaterialien in der Kronen- und Brücken-Prothetik
Schweiz Monatsschr Zahnmed 101, 629-635 [1991]
43. Lutterberg, B., Stiefel, A.
Rauhtiefenmessung und Rasterelektronenmikroskopie an Kavitätenwänden
Dtsch Zahn-, Mund-, Kieferheilk 67 [1979], 137

44. Marxkors, R.
Korrekturabdruck und Doppelmischverfahren (Methoden zur Abformung
Präparierter Zähne)
Quintessenz 18, 51-59 [1967]
45. Marxkors, R.
Das Beschleifen von Zähnen zur Aufnahme von Gußkronen
Zahnärztl Welt/Zahnärztl Rdsch 81 [1972], 1063
46. Marxkors, R.
Der Randschluss der Gusskronen
Dtsch Zahnärztl Z 35, 913 – 915 [1980]
47. Marxkors, R., Meiners, H.
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde
Carl Hanser München [1982]
48. Marxkors, R.
Abformfehler und deren Vermeidung
Zahnärztl Welt 94, 466-473 [1985]
49. Marxkors, R.
Kriterien für die zahnärztliche Prothetik, in: Studienbuch des Projektes
Qualitätssicherung in der Zahnmedizin
Definitionsphase, Würzburg [1988]
50. Marxkors, R.
Funktioneller Zahnersatz
Karl Hanser Verlag München Wien [1988]
51. Marxkors, R.
Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik
Carl Hanser München [1991]
52. McCabe, J.F., Wilson, H.J.
Addition curing silicone rubber impression materials
Br Dent J 145, 17-20 [1978]

53. Meiners, H.
Abformgenauigkeit mit elastomeren Abformmaterialien
Theoretische und experimentelle Untersuchungen
Carl Hanser München [1977]
54. Meiners, H.
Eigenschaften und Genauigkeit von elastomeren Abformmaterialien
(Polysulfide, Silikone, Polyäther)
Zahnärztl Welt 87, 426-430 [1978]
55. Meiners, H.
Der richtige Umgang mit elastomeren Abformmaterialien
Zahnärztl Mitt 70, 480 – 485 [1980]
56. Meiners, H.
Prophylaxe und Werkstoffkunde
Zahnärztl Welt 94, 792-798 [1985]
57. Meiners, H., Marxkors, R., Wronska-Golda, M.
Ungenauigkeiten bei der Abformung kantiger Gegenstände
Dtsch Zahnärztl Z 35, 917-919 [1980]
58. Nayyar, A., Tomlins, C. D. , Fairhurst, C. W., Okabe, T.
Comparison of some properties of polyether and polysulfid materials
J Prosthet Dent 42, 163 – 167 [1979]
59. Nentwig, G.H., Eifinger, F.F.
Beitrag zur systematischen Kronenpräparation, Teil I und II Quintessenz
Zahnärztl Lit 2 [1981], 227; 3 [1981], 447
60. Pantke, H.
Vergleichende Untersuchung der Oberflächenstruktur von mit Diamantschleifkörpern
bearbeiteten Kavitätenwände
Zahnärztl Welt 64 [1963], 526
61. Rasche, K.R.
Der Sandwichabdruck
Zahnärztl Welt 87, 481-482 [1978]

62. Rehberg, R.H.
Der Kronenrand. Exakter Randschluß, was ist das?
Dtsch Zahnärztl Z 26, 696-699 [1971]
63. Rehberg, H. J.
Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel
Quintessenz Berlin 1978
64. Rommel, P.
Vitale Molarenstümpfe, die für Kronen keine Retentionsmöglichkeit mehr bieten.
Quintess Zahnärztl Lit 32 [1981], Ref. Nr. 6177
65. Sassen, H. von
Passgenauigkeit von Kronen bei definierter Präparationsgrenze
Dtsch Zahnärztl Z 33, 726 – 732 [1978]
66. Schulz, H.H., Schwickerath, H.
Die Abformung in der Zahnheilkunde
Deutscher Ärzte Verlag [1989]
67. Schwickerath, H.
Zur Form- und Wiedergabegenauigkeit von elastomeren Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 27, 616-619 [1972]
68. Schwickerath, H.
Das Formverhalten von Abformmaterialien im Versuch und in der Praxis
Dtsch Zahnärztl Z 31, 680-684 [1976]
69. Schwickerath, H.
Randspalt und Löslichkeit
Dtsch Zahnärztl Z 34 [1979], 664
70. Schwindling, R.
Die Abformung mit silikonhaltigen Abformmassen
Dsch Zahnärztl Z 21, 930-936 [1966]
71. Schwindling, R.
Rationelle Maßnahmen beim Doppelabdruckverfahren
Zahnärztl Welt 80. 911-913 [1971]

72. Spiekermann, H.
Zur marginalen Paßform von Kronen und Brücken
Dtsch Zahnärztl Z 41, 1015-1019 [1986]
73. Stachniss, V., Kolbow, G.
Fehler bei der Korrekturabformung und ihre Vermeidung
Dtsch Zahnärztl Z 32, 934-936 [1977]
74. Staehle, G.
Eine rationelle Methode zur Abformung von Kronenstümpfen bei gleichzeitiger
Provisorischer Stumpfversorgung
Dtsch Zahnärztl Z 21, 341-347 [1967]
75. Stahl, E.
Präzise Abdrücke nach dem Doppelabdruckverfahren speziell für stufenlose
Präparationen und Herstellung exakter Modelle für indirekte Kronen-, Brücken- und
Inlayarbeiten
Dtsch Zahnärztl Z 10, 46-52 [1956]
76. Ugrinovic, M.
Zur Verbesserung der Methodik des Korrekturabdruckverfahrens nach Hofmann
Quintessenz 44, 219-231 [1993]
77. Uhlig, C.
Entwicklung eines Sulcusfluid-Flow-Modells zum Vergleich von Abformmaterialien
und -techniken unter standardisierten Bedingungen
Med. Diss., Münster [1998]
78. Wegmann, U.
Eine vergleichende Untersuchung zur Oberflächenqualität präparierter Zähne
Med. Diss., Bonn [1982]
79. Wegmann, U.
Zur Qualität beschliffener Schmelzflächen und der Präparationsgrenzen
Dtsch Zahnärztl Z 40 [1985], 472
80. Welker, D., Mehner, M.
Additionsvernetzende Silikone-Abformwerkstoffe
Stomatol DDR 29, 391-400 [1979]

81. Wichmann, M., Borchers, L., Limmroth, L.
Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer
3-D-Koordinatenmeßmaschine (Teil 1)
Dtsch Zahnärztl Z 45, 499-502 [1990]
82. Wichmann, M., Borchers, L.
Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere mit Hilfe einer
3-D-Koordinatenmeßmaschine (Teil 2)
Dtsch Zahnärztl Z 47, 88-91 [1992]
83. Williams, P., Jackson, G.D., Bermann, W.
An evaluation of the time-dependet dimensional stability of eleven elastomeric
impressions materials
J Prosthet Dent 52, 120-125 [1984]
84. Wilson, R.D., Maynard, G.
Intrasulculäre restaurative Zahnheilkunde
J Parodont Rest Zahnheilkd 1, 4 [1981], 35
85. Windecker, D., Ohle, K.
Einfluß des Herstellungsverfahrens auf den Randschluß von Metallkronen
Dtsch Zahnärztl Z 26, 706-715 [1971]
86. Wirz, J., Schmidli, F.
Moderne Elastomere – Wichtige physikalische Eigenschaften,
Teil I: Material und Methoden, Rheogramme
Quintessenz 40, 959-967 [1989]
Teil II: Elastische Rückstellung und Volumenverhalten
Quintessenz 40, 1151-1156 [1989]
87. Wirz, J., Schmidli, F.
Modellmaterial Gips Teil I : Materialien und Prüfmethoden
Quintessenz 45, 85-91 [1994]
88. Wöstmann, B.
Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde
Habil., Münster 1992

89. Wöstmann, B., Dohle, A., Rettberg, S.
Zur Frage der in vivo erreichbaren Abformgenauigkeit
Dtsch Zahnärztl Z 49, 679 – 682 [1994]
90. Wöstmann, B.
Wie genau lassen sich präparierte Zähne am Patienten abformen?
Zahnärztl Welt 105, 247-250 [1996]
91. Wöstmann, B., Hufnagel, A.
Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung der Randschlussgenauigkeit
in vivo.
Dtsch Zahnärztl Z 52, 272 – 274 [1997]
92. Zach, L., Cohen, G.
Pulp response to externally applied heat
Oral Surg. 19 [1965], 515

9. Messwerttabellen

Verfahren 1 : Stufenpräparation rechtwinklig

Die nachstehende Tabelle zeigt eine Übersicht der Messwerte, die in Verfahren 1 erhoben wurden.

ZAHN	NUMMER	V	DV	D	DO	O	MO	M	MV
36	12 i	10	65	55	71	66	22	14	51
36	12 s	57	175	52	28	26	52	45	82
47	13 i	47	28	86	127	79	71	103	47
47	13 s	72	45	95	169	165	135	103	101
34	14 i	285	276	124	90	67	91	100	67
34	14 s	54	115	60	52	91	112	98	138
15	15 i	50	57	60	76	89	197	65	32
15	15 s	8	13	76	26	102	144	62	97
28	18 i	24	6	7	58	117	92	105	59
28	18 s	14	76	100	70	127	135	154	37
25	19 i	13	11	47	21	61	54	10	1
25	19 s	34	80	33	28	75	36	38	40
47	20 i	132	117	110	68	57	94	115	7
47	20 s	94	46	62	21	95	20	40	41
45	21 i	35	86	91	66	80	43	106	80
45	21 s	41	41	23	41	107	40	115	38
12	22 i	66	57	170	165	171	148	70	90
12	22 s	76	39	50	72	53	50	74	117
21	23 i	106	65	23	47	98	37	93	146
21	23 s	115	56	85	109	118	94	51	69

Legende :

Anzahl der gemessenen Werte = 160

Anzahl der gemessenen Werte pro Abformmaterial = 80 (i = Imprint / s = Silaplast)

Größenangabe = μm

V = vestibulär DV = distovestibulär D=distal DO = distooral O = oral MO = mesiooral
M = mesial MV = mesiovestibulär

Verfahren 2 : Stufenpräparation mit Abschrägung 45°

Die nachstehende Tabelle zeigt eine Übersicht der Messwerte, die in Verfahren 2 erhoben wurden.

ZAHN	NUMMER	V	DV	D	DO	O	MO	M	MV
37	7 i	38	19	45	42	41	62	34	33
37	7 s	27	182	103	185	53	61	34	5
26	8 i	16	33	70	84	49	80	61	48
26	8 s	44	106	76	60	19	31	69	55
18	9 i	100	26	26	26	82	14	35	30
18	9 s	92	99	29	50	127	70	60	88
18	10 i	118	77	55	39	82	19	62	97
18	10 s	92	160	117	105	38	20	6	77
28	11 i	17	88	136	119	31	8	53	34
28	11s	167	137	71	132	80	82	63	53
22	17 i	194	119	63	63	110	59	87	192
22	17 s	151	77	20	118	68	46	61	61
21	16 i	99	96	123	66	96	58	68	125
21	16 s	43	97	51	7	44	49	43	28
38	28 i	68	68	52	38	127	64	44	81
38	28 s	39	52	97	55	59	26	49	55
16	29 i	107	61	43	63	24	42	37	32
16	29 s	59	74	105	96	39	73	24	31
41	30 i	35	22	59	95	32	35	37	44
41	30 s	53	82	78	108	43	60	40	78

Legende :

Anzahl der gemessenen Werte = 160

Anzahl der gemessenen Werte pro Abformmaterial = 80 (i = Imprint / s = Silaplast)

Größenangabe = μm

V = vestibulär DV = distovestibulär D=distal DO = distooral O = oral MO = mesiooral

M = mesial MV = mesiovestibulär

Verfahren 3 : Hohlkehpräparation

Die nachstehende Tabelle zeigt eine Übersicht der Messwerte, die in Verfahren 3 erhoben wurden.

ZAHN	NUMMER	V	DV	D	DO	O	MO	M	MV
18	1 i	45	50	36	56	45	43	44	37
18	1 s	68	38	9	59	40	47	4	16
46	2 i	89	59	44	15	103	97	101	46
46	2 s	23	74	43	34	82	41	28	24
36	3 i	110	13	29	22	105	41	14	30
36	3 s	26	65	47	47	19	36	36	32
33	4 i	38	9	18	28	67	62	55	44
33	4 s	21	28	47	59	45	60	75	33
33	5 i	31	95	94	127	63	80	106	63
33	5 s	70	78	67	87	25	64	87	29
38	6 i	61	81	95	43	111	100	135	150
38	6s	164	109	76	69	29	48	77	120
18	24 i	10	24	49	33	39	56	51	29
18	24 s	49	31	52	31	35	35	73	89
45	25 i	36	44	18	39	20	24	4	57
45	25 s	136	58	37	9	20	69	62	14
37	26 i	57	47	58	94	74	71	31	35
37	26 s	66	143	18	28	6	13	148	187
42	27 i	45	20	56	90	39	33	6	14
42	27 s	23	42	51	40	66	24	47	32

Legende :

Anzahl der gemessenen Werte = 160

Anzahl der gemessenen Werte pro Abformmaterial = 80 (i = Imprint / s = Silaplast)

Größenangabe = μm

V = vestibulär DV = distovestibulär D=distal DO = distooral O = oral MO = mesiooral

M = mesial MV = mesiovestibulär

10. Danksagung

Mein besonderer Dank für die freundliche Überlassung des Themas sowie die jederzeit gewährte fachliche Beratung und Unterstützung gilt Herrn Prof. Dr. med dent B. Wöstmann.

Des Weiteren möchte ich mich ganz herzlich bei meinen Patienten bedanken, ohne deren Einverständnis und Zutun eine Untersuchung wie die hier vorliegende nicht möglich gewesen wäre.

Danken möchte ich darüber hinaus allen zivilen und militärischen Mitarbeitern der Zahnarztgruppe Wolfhagen, Außenstelle Standortsanitätszentrum Fritzlar, für deren Verständnis und Unterstützung bei der Durchführung der praktischen Arbeiten.

Besonderer Dank gilt hier dem Stabsunteroffizier Jens Pauli und der Zahn-
arzhelferin Karin Faber.

Für die freundliche Unterstützung und Hilfsbereitschaft in allen zahntechnischen Belangen danke ich der Belegschaft des Dentallabors König. Besonderer Dank gilt hier dem Chef Herrn Zahntechnikermeister Manfred König, der stets durch Engagement, Beratung und technischen Support zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

An dieser Stelle möchte ich der Firma Cecom Dank sagen, die ohne bürokratischen und finanziellen Aufwand bereit war, die nicht unerhebliche Menge an hochwertigem Zahngold zur Herstellung von 60 Zahnkronen zur Verfügung zu stellen.

Abschließend möchte ich mich bei dem Streitkräfteamt der Bundeswehr, Abteilung III, Fachinformationszentrum, für die tatkräftige Unterstützung bei der Literaturrecherche bedanken.

11. Lebenslauf

Angaben zur Person

Name : Thomas Blößer
geboren : 08.11.1965 in Kassel
Familienstand : verheiratet seit 1997 – 1 Kind

Schulbildung

1971 – 1976 Grundschole, diff. Eingangsstufe, Ernst-Abbe-Schule, Kaufungen
1976 – 1982 Integrierte Gesamtschule, Kaufungen
1982 – 1985 Herder-Schule, Kassel, Oberstufengymnasium
1985 Abitur

Beruflicher Werdegang

1985 Eintritt in die Bundeswehr
1985 – 1989 Ausbildung zum Offizier
1989 – 1994 Studium der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der Justus-Liebig-Universität Gießen
1994 Staatsexamen und Approbation als Zahnarzt
1994 – 1995 Leiter Zahnarztgruppe 419 / 2 , Bad Arolsen
1995 – 1997 Leiter Zahnarztgruppe 419 / 1 , Wolfhagen
Seit 1997 Leiter Zahnarztgruppe Außenstelle Standortsanitätszentrum Fritzlar

Wolfhagen, den 04.06.00