Vergleich vier verschiedener Schleifkörper und Darstellung der Zusammenhänge zwischen Präparationsform und Passgenauigkeit von Kronen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Mercedes Pieper
aus Gießen

Gießen 2003

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Abteilung: Zahnärztliche Prothetik

Leiter: Professor Dr. P. Ferger

des Universitätsklinikums Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. Oehmke

Tag der Disputation: 29. April 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Ziel der Arbeit 2

3 Literaturübersicht 4

3.1 Die optimale zahnärztliche Präparationstechnik – Wege zur Qualitätssicherung 4

3.2 Anforderungen an die Gestaltung der Präparationsgrenze 5

3.3 Grundformen der Präparationsgrenzen 8

3.3.1 Stufenpräparation 10

3.3.2 Tangentialpräparation 11

3.3.3 Hohlkehlpräparation 12

3.4 Technische Entwicklung 14

3.5 Definition Randspalt 15

3.6 Abformmaterialien 20

3.6.1 Allgemeine Eigenschaften der Abformmaterialien 22

3.6.2 Spezielle Eigenschaften der verwendeten Abformmaterialien 25

3.6.3 Abformmethoden 29

4 Material und Methode 32

4.1 Verwendete Materialien 32

4.2 Durchführung der Untersuchung 33

4.2.1 Herstellung der Prüfkörper 33

4.2.2 Abformung der Prüfkörper 36

4.2.3 Modell- und Messkäppchenherstellung 37

4.2.4 Messung der Randspalten 40

4.2.5 Weitere Untersuchungskriterien 41

4.2.6 Statistische Auswertung und grafische Darstellung der Messergebnisse 41

4.3 Qualitätssicherung – Dateneingabe 42

5 Ergebnisse 43

5.1 Gesamtvergleich der Ergebnisse nach Schleifkörperform und Abformtechnik 43

5.2 Vergleich der Ergebnisse des jeweiligen Schleifkörpers nach Abformtechnik und Stumpfform 45

5.2.1 Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf 45

5.2.2 90° abgewinkelte Spitze 47

5.2.3 Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf und abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze 48

5.2.4 90° abgewinkelte Spitze mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze 49

5.3 Ergebnisse der Signifikanzprüfung 50

5.4 Betrachtungen der Mittelwerte, Minima und Maxima 52

5.5 Darstellung der Ergebnisse aus den verschiedenen Abformtechniken und Betrachtungen der Häufigkeitsverteilung 54

5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse 56

6 Diskussion 57

6.1 Handhabung der Schleifkörper und Abformmaterialien – eine subjektive Bewertung 57

6.2 Diskussion der Versuchsmethode 58

6.3 Diskussion der Ergebnisse zur Schleifkörperart 60

6.4 Diskussion der Ergebnisse zur Abformtechnik 63

6.5 Diskussion der Ergebnisse zur Zahngeometrie 64

7 Zusammenfassung 66

8 Literaturverzeichnis 68

Erklärung

Danksagung

Lebenslauf

1 Einleitung

Eine der technisch-funktionellen Aufgaben in der zahnärztlichen Praxis stellt die Restauration von Zähnen durch Präparation von Kavitäten und Kronen mit rotierenden Instrumenten dar.

Die präzise Gestaltung einer bestmöglichen Kronenstumpfform mit gezielter Formgebung des Präparationsrandes steht am Anfang der Arbeitsschritte zur Herstellung einer gegossenen Restauration.

Der Erfolg einer prothetischen Versorgung hängt entscheidend von der Qualität des Kronenrandes ab, die u. a. durch Größe des Randspaltes, die zervikale Form und Lage des Kronenrandes sowie die Oberflächengüte der Restauration definiert wird [17]. Die biologischen Faktoren wie Sekundärkaries und parodontale Schäden sind Folgen mangelhafter Randschlussgenauigkeit [18].

Es werden durch die Einführung neuer Verarbeitungstechnologien und die Nutzung von z. B. hochfester Industriekeramik zur Herstellung von Kronen erhöhte Anforderungen an die Genauigkeit der Präparationsgrenze gestellt. Kronen können nach Digitalisierung der Präparation computergesteuert hergestellt werden (CAD/CAM-Systeme: Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing). Problematisch sind Ungenauigkeiten im Randbereich, weil diese beim Abtasten mit Arbeitsköpfen, die eine Mindestgröße besitzen, oft nicht digital erfasst werden können [96].

Die Auswahl des besten Schleifkörpers für eine Präparation ist ein wichtiger Schritt in der Werkstoff- und Arbeitskette bis hin zur Krone. Das Bemühen den Randschluß so klein wie möglich zu halten, sollte nicht durch eine eingeschränkte Auswahl an Schleifkörpern verhindert werden.

2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, den Einfluss der Schleifkörperform auf die Passgenauigkeit der Krone am Präparationsrand im Experiment zu bestimmen.

Die Randspaltbreite zwischen Kronenrand und präpariertem Zahn gilt als Maß für die biologische Akzeptanz einer Krone oder Brücke. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, durch Vergleich verschiedener Schleifkörperformen, festzustellen, inwieweit die Präparationsform, die eine technische Anforderung der Randgestaltung darstellt, Einfluss auf die biologischen Anforderungen und die langfristige Funktionstüchtigkeit einer Krone nimmt.

Dazu sollen der von *Marxkors* beschriebene Schleifkörper: zylindrischer Diamant mit kegelförmigem Kopf, ein Schleifkörper mit einer Spitze, die einen Winkel von 90° einschließt, ein weiterer mit einem Winkel von 90° und abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze und schließlich eine modifizierte Marxkorsspitze, die ebenso einen abgerundeten Übergang zwischen Schaft und Spitze hat, miteinander verglichen werden (Abb.1).

Die Tauglichkeit der Schleifkörper soll sowohl an Front-, als auch an Seitenzähnen überprüft werden (Zähne 11 und 17). Durch die Anwendung verschiedener Abformmethoden und Abformmaterialien sollen die unterschiedlichen Eigenschaften dieser Materialien berücksichtigt werden.

Zusätzlich sollen auch Unterschiede bezüglich der verschiedenen Abformmassen in Abhängigkeit zu den verschiedenen Stumpfformen geprüft werden.

Abb. 1: Form der Schleifkörper von links nach rechts:
Marxkors, 90°, abgerundet, 90°+abgerundet

Tabelle 1 listet alle verwendeten Schleifkörper auf. Der modifizierte Bereich des Versuchsschleifkörpers ist in Abb. 3 durch einen Pfeil markiert.

Stufe 1	zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors
Stufe 2	90° abgewinkelte Spitze
Stufe 3	zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze (Versuchsschleifkörper)
Stufe 4	90° abgewinkelte Spitze mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze

Tab. 1: Verwendete Schleifkörper und ihre Zuordnung

3 Literaturübersicht

3.1 Die optimale zahnärztliche Präparationstechnik – Wege zur Qualitätssicherung

Die zu berücksichtigenden wissenschaftlichen, praktischen und technologischen Aspekte der Zahnpräparation sowie die verschiedenen Arbeitsmethoden und –mittel bilden einen sehr schwer überschaubaren Komplex.

Es wird versucht, die Grundlagen für eine optimale Präparationstechnik nach umfassender Betrachtung in Forschung, Lehre und Arbeitspraxis in ein systematisches Konzept einzuordnen. *Kimmel* führte in Zusammenarbeit mit der DGZMK - Arbeitsgemeinschaft „Arbeitswissenschaft und Zahnheilkunde“, dem Internationalen Institut für Zahnärztliche Praxisführung und Doktoranden Untersuchungen durch und konzipierte ein Basissystem, in das wesentliche Kriterien für eine optimale Präparationstechnik integriert wurden [67]. Mittel der Qualitätssicherung sind einerseits die Einführung eines systematisierten Basiskonzeptes für die Arbeitsweise und andererseits die fachgerechte Auswahl der angewendeten Arbeitsmittel [68,69,70].

Das ständige Anpassen der Präparationstechnik an den wissenschaftlichen Entwicklungsstand gehört zu den fachlich-ethischen Pflichten des Zahnarztes gegenüber seinen Patienten und verlangt ein hohes Maß an Fortbildung.
In einer Stellungnahme der DGZMK von 1999 werden folgende Parameter bei der Präparation der Zahnhartsubstanz zur Beachtung aufgelistet:

- atraumatische Arbeitstechnik
- rationale Arbeitsgestaltung
- optimales Arbeitsergebnis

Zur Erzielung eines optimalen Arbeitsergebnisses gehört eine gezielte Präparation zur Gestaltung einer bestmöglichen Kronenstumpfform unter Berücksichtigung der Karies- und Parodontitisprävention [71].

Eine wichtige Basis für die anzustrebende optimale Leistungsqualität sind Instrumentensätze, die die Anforderungen der gesetzlichen Regelwerke für Medizinprodukte erfüllen und nach gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen entwickelt wurden [72].
Die ersten Instrumentensätze wurden 1976 von *Ketterl* und *Mayer* [73] und von *Lustig* [74] angewendet. *Kimmel, McLean* und *Meiners et al*. entwickelten später weitere Instrumentensätze mit abgerundeten Arbeitsteilformen [41,75,76].

3.2 Anforderungen an die Gestaltung der Präparationsgrenze

Klinische Untersuchungen zeigen, dass die Qualität des Kronenrandes die Lebensdauer einer Restauration wesentlich beeinflusst [13,20]. Eine fehlerhafte Gestaltung des Randbereiches kann durch Plaqueanlagerung zu Sekundärkaries oder zu parodontalen Schädigungen führen [17,18,19].

Die Gestaltung der Präparationsgrenze ist von zwei wesentlichen Gesichtspunkten abhängig:

- **biologische Anforderungen**
- **technische Anforderungen**

Die unterschiedlichen Gestaltungen der Präparationsgrenzen entstehen durch die Einflüsse dieser Anforderungen. Die Randgestaltung sollte daher immer einen Kompromiss der verschiedenen Faktoren darstellen.

Folgende Kriterien sind unter den **biologischen Anforderungen** bei der Gestaltung der Präparationsgrenze zu berücksichtigen:

- Lage der Präparationsgrenze beeinflusst durch Karies und Füllungen
- Vermeidung von Zahn- und Pulpaschäden
- Vermeidung von parodontalen Irritationen
- Mögliche Reinigung des Kronenrandes
- Erkennbarkeit der Präparationsgrenze
- Berücksichtigung ästhetischer Aspekte

Folgende Faktoren haben Einfluss auf die **technischen Anforderungen** bei der Gestaltung der Präparationsgrenze:

- Art des Restaurationsmaterials
- Mindestmaterialschichtstärke
- Gewährleistung von Retention und Widerstandsform der Restauration
- Präparations- bzw. Schleifkörperform
- Sicherstellen der Einschubrichtung
- Form der klinischen Krone
- Mögliche labortechnischen Probleme bei scharfkantigen Präparationswinkeln

Zu den **biologischen Anforderungen** bei der Gestaltung der Präparationsgrenze lässt sich folgendes zusammenfassend sagen:

Der präparierte Zahnstumpf muss kariesfrei sein. Der Zerstörungsgrad der Zähne bzw. die Ausdehnung des Aufbaus beeinflusst die Lage der Präparationsgrenze.
Sowohl zum Schutz der vitalen Pulpa, als auch zum Erhalt der Zahnstabilität muss eine Mindestschichtstärke Dentin erhalten bleiben. Bei der Überkronung unterer Schneidezähne kann es zu Konflikten zwischen dem Schutz der Pulpa und ausreichender Präparationstiefe kommen. Es ist ein Kompromiss zu Lasten der Kronenwandstärke zu schließen [98]. Die Vermeidung übermäßiger Wärmeentwicklung bei der Präparation lässt das Risiko einer Pulpanekrose sinken.

Vorraussetzung ist eine ausreichend große Spraykühlung mit entsprechender Spraystrahlrichtung [99].
Supragingival gelegene Kronenränder sind sowohl für den Patienten besser zu reinigen als auch für den Zahnarzt besser zu kontrollieren. Bei ihrer schlechten Zugänglichkeit stellen infragingivale Kronenränder stets eine parodontale Irritation dar.
Die Erkennbarkeit der Präparationsgrenze spielt sowohl bei dem Beschleifen des Zahnes, als auch bei der Abformung eine wichtige Rolle. Nicht nur der Zahnarzt selbst, sondern auch der Zahntechniker profitiert von einer erkennbaren Präparationsgrenze.
Eine rein supragingival gelegene Präparationsgrenze ist aber aus ästhetischen Gründen nicht immer zu realisieren.

Neben den bereits erwähnten biologischen Anforderungen haben auch die **technischen Anforderungen** Einfluss auf die Gestaltung der Präparationsgrenze.

Welche Art von Restaurationsmaterial Verwendung findet, hängt davon ab welche Anforderungen an den Kronentyp gestellt werden. Mechanisch gesehen schneidet eine Vollgusskrone sehr gut ab, in ästhetischer Hinsicht jedoch die Keramikkrone. Die Gestaltung der Präparationsgrenze variiert hierbei sehr: Goldgusslegierungen sind auch in dünnen Schichten sehr stabil, die Präparationsgrenze kann daher im spitzen Winkel zur Zahnachse verlaufen, z. B. in einer Tangentialpräparation. Keramik als Werkstoff braucht eine ausreichende Schichtstärke um den auftretenden Kräften Widerstand zu leisten. Daraus resultiert eine tiefer in den Zahn reichende Präparation, wie z. B. eine Stufenpräparation. Aus diesen Faktoren ergeben sich dementsprechend unterschiedlich gestaltete Schleifkörperformen.
Die Präparationsform muss den sicheren Halt und eine hohe Widerstandsfähigkeit der Krone gewährleisten. Der Umfang der Präparation, die Konizität, die Ausdehnung in der Höhe, also auch die Form der klinischen Krone und die Oberflächenrauhigkeit bestimmen die Retentionsform einer Präparation [23].
Durch die Änderung des Präparationswinkels lassen sich problematische Einschubrichtungen lösen.

Scharfkantige Präparationswinkel sollten vermieden werden, um Brüche in der Keramik bei der Herstellung von Keramik-Mantelkronen zu verhindern. Untersuchungen von *Meiners* zeigten Verzerrungen der Stumpflumina nach Abformung kantiger Stümpfe [41]. *Marxkors* rät von breiten rechtwinkligen Stufen im Grenzbereich ab, da es labortechnisch schwierig ist, scharfe Kanten zu übertragen [2].

Jung und *Quast* untersuchten anhand verschiedener Präparationsformen und unterschiedlicher Legierungen das Gussgefüge am Kronenrand. Poren und Lunker an der randnahen Außenfläche der Krone begünstigen die Ansiedlung von Bakterien und damit die Entstehung von entzündlichen Prozessen. Aus diesem Grund ist die Qualität des Gusses für den Erfolg von Kronen- und Brückenarbeiten von erheblicher Bedeutung [47].

Durch den gegenseitigen Einfluss von biologischen und technischen Anforderungen an die Gestaltung der Präparationsgrenze ergibt sich eine große Variationsbreite in der Präparationsform.

3.3 Grundformen der Präparationsgrenzen

Die vorliegende Arbeit zeigt Zusammenhänge zwischen dem zervikalen Randspalt einer Gusskrone und der Form der Präparationsgrenze auf.

Die Form der Kronenränder wird ganz entscheidend von der Art der zahnärztlichen Präparation und der Wahl des entsprechenden Schleifkörpers zur Gestaltung der Präparationsgrenze beeinflusst. Einerseits wird ein gewisser Abtrag von Zahnsubstanz aus materialtechnischen und ästhetischen Gründen gebraucht, andererseits steht dem jedoch der Erhalt der Zahnstabilität und die Vermeidung der Pulpaschädigung, eine biologische Anforderung, gegenüber.

Ein Auswaschen von Haftzement und ein unterminierendes Ausbreiten von Karies am Kronenrand läuft rascher in horizontaler Richtung zur Zahnachse ab als in vertikaler. Daher sollte die Präparationsgrenze stets in einem Winkel zur Vertikalfläche vorgenommen werden. Hier kann also eine technische Anforderung für die Gestaltung der Präparationsgrenze (die Form des Schleifkörpers) Einfluss auf eine biologische Anforderung (Vermeidung von Zahnschäden) nehmen.

Es haben sich drei gängige Formen der Präparationsgrenzen durchgesetzt, die alle dazu beitragen, eine Stumpfform zu erstellen, auf der spätere Kronen in der jeweiligen Situation möglichst lange funktionstüchtig bleiben.

Diese **drei klassischen Grundformen der Präparation** bezeichnet *Körber* als [1]:

- Stufenpräparation mit horizontalem Grenzflächenverlauf
- Tangentialpräparation mit vertikalem Verlauf der Grenzfläche
- Hohlkehlpräparation

Bei diesen Präparationsarten wird der Werkstoff in die Zahnsubstanz verlegt, um eine Reizung des Prodontalgewebes zu vermeiden.

Marxkors verwendet zum Anlegen einer erkennbaren Präparationsgrenze einen zylindrischen Diamanten mit kegelförmigem Kopf [2]. Er variiert die notwendige Platzschaffung für z.B. Verblendungen anhand der Breite der zervikalen Stufe. Die Bildung der Präparationsgrenze sollte stets in dem Winkel erfolgen, der gerade zur Sichtbarkeit ausreicht. Dies ist bei einem Winkel von etwa 45° gegeben. Der granatförmige Diamant nach *Marxkors* schließt mit seiner Spitze einen Winkel von 45° zur Schleifkörperachse ein. Für *Marxkors* ist eine erkennbare Präparationsgrenze definiert als Grenze zwischen unbeschliffenem und beschliffenem Anteil des Zahnes.
Der Versuchsschleifkörper in dieser Arbeit stellt eine modifizierte Form des Schleifkörpers nach *Marxkors* dar.

3.3.1 Stufenpräparation

Die zervikale Stufenpräparation führt zu einer deutlichen Präparationsgrenze, die mit einer Sonde tastbar ist, sich deutlich in der Abformung markiert und sich ebenso deutlich auf dem Stumpfmodell findet. Dem Zahntechniker dient sie als zervikale Begrenzungslinie. Bei der Stufenform geht die beschliffene Fläche des Zahnes in den unbeschliffenen Teil unter einem Winkel von 90° oder mehr über [24].

Marxkors empfiehlt eine 0,3 mm breite schräge Stufe [2]. Der Übergang zwischen Zahn und Krone kann bei dieser Präparationsform so gestaltet sein, dass dieser unmerklich verläuft. Ein Ausfransen der Metallkante muss nicht befürchtet werden, da ausreichend Materialmasse am Präparationsrand zur Verfügung steht. Im Vergleich zu der Tangentialpräparation hat die Stufenpräparation den Nachteil, dass relativ viel Zahnsubstanz weggeschliffen werden muss. Außerdem kann es passieren, dass eine bruchgefährdete Schmelzkante apikal stehen bleibt. *Marxkors* empfiehlt in einem solchen Fall die Präparationsgrenze entsprechend weiter zervikal zu legen, um ein Absprengen von Schmelz am Kronenrand zu vermeiden [2].

Das Anbringen einer zervikalen Abschrägung verkleinert den Abstand des Kronenrandes zum Zahn. Bei einer reinen Stufenpräparation ist die zervikale Diskrepanz größer, als bei einer Stufenpräparation mit Federrandgestaltung. Je kleiner der Randwinkel, desto kleiner der Spalt zwischen Restaurationsgrenze und der Krone, da die zervikale Diskrepanz dem Konvergenzwinkel umgekehrt proportional ist [3,4].
Die Gefahr einer Kavität an der Präparationsgrenze durch Auswaschen der exponierten Zementschicht steigt mit zunehmender zervikalen Diskrepanz (Abb. 2).

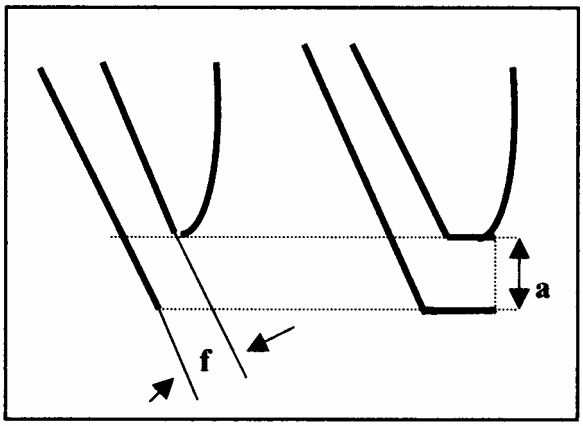

Abb. 2: Exponierte Zementschicht bei stufenloser und Stufenpräparation. Nach [4]
f: Schichtdicke auf der Mantelfläche
a: zervikale Diskrepanz.

3.3.2 Tangentialpräparation

Die Tangentialpräparation wird auch als stufenlose Präparationsform bezeichnet [1]. Diese Art der Grenzgestaltung hat zur Folge, dass im zervikalen Randbereich der Krone das Metall auf der Zahnsubstanz aufliegt und dementsprechend ein nahtloser Übergang des Kronenrandes nicht erreicht werden kann. Eine Überkonturierung ergibt sich bei diesem Abschluss fast immer.

Ebenfalls besteht bei dieser Art der Präparation die Gefahr, dass der Kronenrand die Präparationsgrenze in apikaler Richtung überragt [9] .
Das Fehlen einer eindeutigen Grenze erklärt die ungenaue Randgestaltung. Die Präparationsgrenze wird nur noch durch eine Linie markiert, die sich aus dem beschliffenen, rauhen Teil des Zahnes und der unbeschliffenen glatten Fläche ergibt.

Nur bei stark ausladenden Zahnkronen oder gekippten Zähnen wird eine erkennbare Grenzlinie durch tangentiale Präparation geschaffen. Die Vergrößerung des Präparationswinkels in der Grenzzone bewirkt eine deutlichere Darstellung der Präparationsgrenze [6].

Die Untersuchungen von *Borchers, Filitz* und *Meyer* ergaben, dass Stümpfe mit Tangentialpräparation tendenziell genauer abgeformt wurden, als solche mit Hohlkehlpräparation [42].

3.3.3 Hohlkehlpräparation

Die Hohlkehlpräparation hinterlässt eine gut markierte Präparationsgrenze und ist verhältnismäßig substanzschonend. Die Abformmaterialien und die Zemente können gut abfließen. Die gerundete Konkavität bewirkt eine geringere Spannungskonzentration innerhalb des Zementfilmes als dies beim scharfen inneren Winkel einer Stufenpräparation der Fall ist [7,8] . Das entsprechende Gussstück hat eine scharfe Metallkante mit ausreichender Masse und es besitzt einen sich schnell verdickenden spitzwinkligen Rand [3,4,5]. Die gute Stabilität erreicht die „Schulter“ durch die Stärke des Metalls am Rand [25].

Das Einhalten eines gewissen Substanzabtrages bei der Hohlkehlpräparation ist Vorraussetzung für eine lange Haltbarkeit des Zahnersatzes.
Bei Nichteinhaltung der Präparationstiefe kann es zu überextendierten Kronenrändern und Spätfolgen wie Degenerationen am inneren und äußeren Saumepithel und zu Entzündungen des Zahnhalteapparates mit Knochenreduktion kommen [45].

Eine Studie zur Dimensionstreue der Hohlkehle von *Seymor et al*. zeigt, dass in der zahnärztlichen Praxis häufiger Unterpräparationen von bis zu 25% bei der geforderten Schulterbreite auftreten [43]. *Roßbach* empfiehlt jedoch zur Vermeidung einer Pulpaschädigung einen Sicherheitsabstand von mindestens 0,7 mm zur Pulpa einzuhalten [44].

Über die „ideale Form“ der Randgestaltung gibt es keine einheitliche Auffassung [23]. Sowohl biologische als auch technische Faktoren fließen in die Wahl der Präparationsart mit ein (Abb.3).

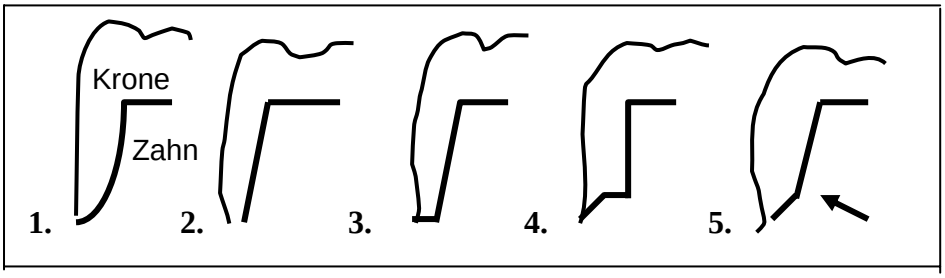

Abb. 3 Verschiedene Präparationsgrenzen. Nach [3,5]
1. Hohlkehle, 2. Tangentialpräparation, 3. 90°-Stufe,
4. abgeschrägte Stufe, 5. schräge Stufe nach Marxkors

Haas, Wegschneider und *Bratschko* untersuchten die Randspalten von Keramikverblendkronen mit Jacketkronen. Die verblendeten Kronen wurden anhand verschiedener neuerer Technologien wie z.B. Ceplatec, Dicor, Cerestore und Hi-Ceram hergestellt.

In diese Studie flossen auch drei unterschiedliche Präparationsformen ein: Hohlkehle mit Abschrägung, Hohlkehle, Stufe. Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei den neuen Technologien von einer Stufenpräparation abzuraten ist, da die Kronen am Stumpf drehbar sind und nicht exakt positioniert werden können. Der schlechte Sitz der Hi-Ceram Kronen kommt dadurch zu Stande, dass herstellungsbedingt ein Spalt in der Stufe am Stumpf entsteht. Bei Hi-Ceram Kronen kommt es bei Stufenpräparation zu einer deutlichen Spaltbildung zwischen dem Aluminiumoxidgerüst und der Stufeninnenkante.

Die besten Ergebnisse bei verblendeten Brücken mit gegossenem Metallgerüst liefert die Hohlkehlpräparation mit Randgestaltung aus Metall. Diese Ergebnisse stellen jedoch aufgrund der Versuchsanordnung mit direkter Herstellung der Kronen auf Metallstümpfen keine absolute Vergleichsmöglichkeit mit den indirekt hergestellten Kronen dar [46].

3.4 Technische Entwicklung

Im Zuge des technischen, funktionellen und des allgemein fachlichen Fortschrittes der Entwicklung der Zahn- Mund- und Kieferheilkunde entstanden eine Vielfalt an Bohr- und Schleifinstrumenten. Vom Fiedelbohrer über den Drillbohrer führte erst die 1871 von *Morrison* konstruierte Bohrmaschine mit Fußantrieb zum Durchbruch der Kavitätenpräparation. Daraufhin wurden die ersten Stahlbohrer mit einer zweckmäßigen Schneidekante konstruiert.

Im Jahre 1887 wurde die erste elektrische Dental-Bohrmaschine vorgeführt. Sie wurde von *Reiniger, Gebert u. Schall*, Erlangen, gebaut. Die nun möglich gewordene effektive Kavitätenpräparation gehörte zu den ersten Fortschritten der modernen Zahnheilkunde. Mit der Gründung von *Meisinger* in Düsseldorf startete 1888 die industrielle Herstellung von rotierenden Dentalinstrumenten in Deutschland.
Die Arbeitsmittel wurden entsprechend den Präparationsformen und Methoden weiterentwickelt. Die Übertragungstechniken der Bohrmaschinen wurden laufend verbessert. Um sich vor Stromausfällen zu schützen, wurde häufig eine Kombination von Elektro- und Fußtrittbohrmaschinen benutzt.

Die Verwendung höherer Drehzahlen, und somit höherer Temperaturen an der Zahnoberfläche, stellt die Vitalerhaltung der Pulpa durch das richtige Ausmaß der Kühlung und den richtigen Anpressdruck und die Vorgehensweise beim Präparieren in den Vordergrund [57,58,59]. Die Entwicklung von Kühlsprayvorrichtungen (*Dürr, Kavo*) war beim Überschreiten einer Tourenzahl von 3000 Umdrehungen pro Minute erforderlich. Die Turbine mit ca. 160000 Umdrehungen pro Minute leitete eine neue Ära der Präparationstechnik ein. Durch zusätzlich eingebaute Lichtleitervorrichtungen (*Kavo, DMI, Siemens*) und die Entwicklung von elektrischen Mikromotoren ist die Rolle der Hand- und Winkelstücke weiter gewachsen.

Die Normung von Instrumentenabmessungen, -formen und -bezeichnungen ist die wesentliche Grundlage für eine rationelle zahnärztliche Präparationstechnik. Die systematische Normungsarbeit begann in Deutschland im Jahr 1961 im Rahmen der DIN Normungsaktivitäten im Dentalbereich.

Die instrumentelle Entwicklung ist hauptsächlich durch den Wandel sowohl von kantigen zu runden, als auch von Stahl- zu Diamant- und Hartmetallinstrumenten gekennzeichnet. Anfangs wurden für das Beschleifen von Zähnen Siliziumkarbid- und Karborundschleifkörper benutzt.

McLean führte durch seine Bewertung von Präparationsformen zum ersten mal ein systematisches Präparationskonzept ein. *McLean* und *Kimmel* unterwarfen die unterschiedlichen Präparationsformen und die definitiven Versorgungsmöglichkeiten einer kritischen Betrachtung. Sie zogen die Ausführbarkeit, Sichtbarkeit der Präparationsgrenze, klinische Wertigkeit, technische Wertigkeit, Spannungskonzentration und Spaltbildung bei Passungenauigkeit in die Gesamtwertung mit ein [5]. Die Kavitäten- und Kronenpräparationen sollten mit sachgerechten und dabei systematisch ausgewählten und angewendeten Instrumenten ausgeführt werden, und deren Formen, Ausführungen und Größen sollten gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechen [72].

3.5 Definition Randspalt

Der Hauptgrund für das Versagen von festsitzenden Restaurationen sind neben Fehlern in der Okklusion die Entstehung von Sekundärkaries am Kronenrand und das Auftreten von parodontalen Schäden.
Ein mangelhafter Randschluß ist der häufigste Grund pathologischer Reaktionen an überkronten Zähnen. Deshalb kann man Randspaltbreite zwischen Kronenrand und präpariertem Zahn als das Maß für die biologische Akzeptanz ansehen [100,17].
Es gibt zur Zeit keine einheitliche Nomenklatur für die Bezeichnung der Passgenauigkeit und des marginalen Profils einer gegossenen Restauration.
Demmel definiert 1971 den Randspalt passgenauer Kronen als zervikale Diskrepanz. Es kommt je nach Zementsorte und Zementierungsart zu einer mehr oder minder großen Zementschicht zwischen Krone und Zahnstumpf. Die Beziehung zwischen der Schichtdicke des Zementes (f), dem Konvergenzwinkel (a) und der zervikalen Diskrepanz (x) lässt sich grafisch darstellen (Abb. 4).

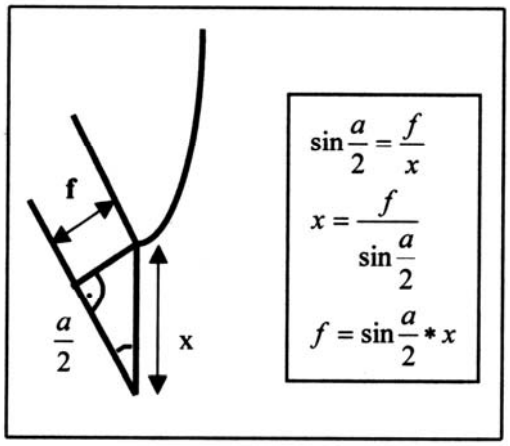

Abb. 4: Beziehung zwischen
f: Schichtdicke d. Zementes
a: Konvergenzwinkel
x: zervikale Diskrepanz
Nach [4]

Die zervikale Diskrepanz ist dem Konvergenzwinkel umgekehrt proportional. Ein sehr flaches konisches Präparieren, das eine sehr geringe zervikale Diskrepanz zur Folge hat, ist aber im Normalfall durch statische und anatomische Gegebenheiten nicht realisierbar. Der Vorschlag von *Demmel*, die Spaltbreite als „zervikale Diskrepanz“ zu definieren, hat sich durchgesetzt.

Holmes und Mitarbeiter weiteten die Definition der zervikalen Diskrepanz noch aus. Sie unterscheiden auf der Basis geometrischer Überlegungen sechs Typen verschiedener marginaler Diskrepanzen und definieren zusätzlich noch die vertikale, horizontale und absolute marginale Diskrepanz [16]. Letztere wurde den Messungen dieser Arbeit zu Grunde gelegt (Abb. 5, 6).

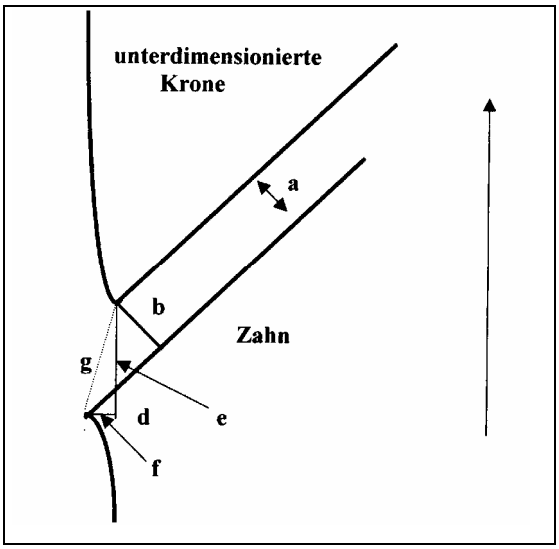

Abb. 5 Unterdimensionierte Krone

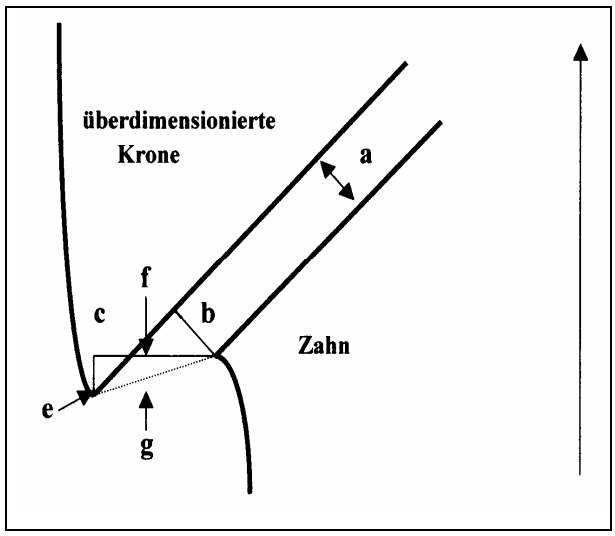

Abb.6 Überdimensionierte Krone

Abbildung 5 und 6 : Terminologie der verschiedene Randspalten. Nach [16].

a: innerer Spalt

b: äußerer Spalt

c: überdimensionierter Rand

d: unterdimensionierter Rand

e: vertikale marginale Diskrepanz

f: horizontale marginale Diskrepanz

g: absolute marginale Diskrepanz

In Abb. 7 sind verschiedene marginale Diskrepanzen in Bezug auf die Gestaltung der Krone aufgelistet. Liegt kein Randspalt vor, ist die marginale Diskrepanz der Wert der Überextension bzw. Unterextension der modellierten Krone.

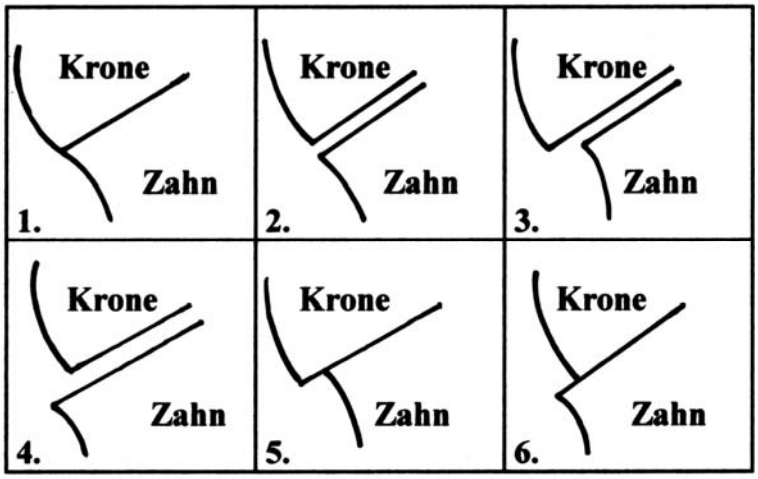

Abb. 7 : Verschiedene marginale Diskrepanzen. Nach [16].

1. Kein Randspalt, keine Überextension, keine Unterextension
2. Randspalt, keine Überextension, keine Unterextension
3. Randspalt (offen), Überextension
4. Randspalt (offen), Unterextension
5. Kein Randspalt, Überextension
6. Kein Randspalt, Unterextension

Die optimale Größe der zervikalen Diskrepanzen wird in der zahnärztlichen Wissenschaft unterschiedlich beurteilt. Nach *Dreyer-Jörgensen* sollte der Wert 50 µm nicht überschreiten. 1958 beschreibt er als „genügend klinische Präzision“ die Tatsache, dass man weder mit bloßem Auge an den Kronen bzw. dem Füllungsrand einen Spalt erkennen, noch mit einer spitzen Sonde ertasten kann [10].

Einfeldt fordert unter Berücksichtigung der Korngröße des Zementes Spalten von mindestens 20–30 µm, maximal jedoch 50 µm. Er begründete diese Forderung mit der Erfahrung vermehrter Entstehung von Sekundärkaries an Kronenrändern über 50 µm [12]. *Rehberg* erachtete 1971 als optimalen Randschluß, der durch die zahnärztliche Technik erreicht werden kann, eine Breite bis zu 20 µm [11].

Die Untersuchungen von *Düsterhus* ergaben Randspalten von 70-160 µm an präparierten Zähnen mit erkennbarer Grenze. Er stellte fest, dass die Randspalten bei Kronen ohne eindeutige Präparationsgrenzen größer sind als die Randspalten bei Kronen mit eindeutig erkennbarer Präparationsgrenze [14].

Spiekermann hat allerdings 1986 an Kieferpräparaten mit eingegliederten Kronen erschreckend große Mittelwerte für die ausgemessenen Zementspaltbreiten an tangential präparierten marginalen Kronenbereichen von 382 µm gemessen. Nur 20% der eingegliederten Kronen wiesen eine korrekte Passform auf, d. h. Zementspalten bis zu 80 µm [13].

Marxkors fordert für einen optimale Versorgung eine marginale Diskrepanz von weniger als 200 µm [15]. Im propädeutischen Unterricht hergestellte Gusskronen wiesen in 95 % der Fälle Randspaltbreiten zwischen 0 und 100 µm auf [26].

Die Messung der marginalen Diskrepanzen kann nach unterschiedlichen Methoden erfolgen. Hierbei sind klinische intraorale Untersuchungen mittels Messsonde relativ ungenau, da die individuelle Taktilität eines jeden Behandlers die Reproduktionsgenauigkeit und Vergleichbarkeit der Messergebnisse nicht gewährleistet. Schwierigkeiten bei der Beurteilung des Randspaltes in vivo werden oft durch die Lichtverhältnisse, die Lage des Kronenrandes und die Einsehbarkeit der Messstelle hervorgerufen. In anderen In-vivo-Studien wurden zur Objektivierbarkeit der Ergebnisse und zur quantitativen Analyse Restaurationen abgeformt (Replikamethode) und dann extraoral in einem Mess- oder Rasterelektronenmikroskop anhand der Abdrücke oder der Modelle vermessen [21,22].

Diese Einschränkungen klinischer Untersuchungen zur Randständigkeit rechtfertigen die Notwendigkeit von eingehenden In-vitro-Studien. Hierbei ist eine qualitative und gleichzeitig quantitative Auswertung wesentlich einfacher zu bewerkstelligen. Messungen an Prüfstümpfen mit idealisierten Geometrien weisen geringere statistische Fehler auf als Randspaltmessungen in kontrollierten klinischen Untersuchungen.

3.6 Abformmaterialien

Nicht nur die Entscheidung für eine bestimmte Gestaltung des Randbereiches einer Kronenpräparation sondern auch die Wahl des Abformmaterials hat Einfluss auf die Passgenauigkeit einer Krone, die in den Händen des Zahnarztes und nicht des Zahntechnikers liegt.

Die Abformung steht als Bindeglied zwischen der Tätigkeit des Zahnarztes und der Arbeit des Zahntechnikers. Sie fixiert die klinische Situation im Mund des Patienten und fungiert so als Mittler des Datentransfers.

Dem Zahntechniker ist es möglich anhand der Abformung eine Arbeitsgrundlage zu erstellen. Das Modell, auf dem die prothetische Arbeit hergestellt wird, kann allerdings nur so gut sein wie die Abformung. Die Qualität der Abformung ist die Vorraussetzung einer präzisen und passgenauen prothetischen Arbeit. Aus diesem Grund steht die Abformung im Mittelpunkt der gesamten Arbeitsabläufe.

Die Herstellung von gegossenen Restaurationen erfolgt in mehreren zahnärztlichen und zahntechnischen Arbeitsschritten. Die manuellen Arbeitsschritte wie das Präparieren und das Abformen der Stümpfe, sowie das Herstellen der Gusskronen im Labor bilden eine Arbeitskette.
Die Verwendung der zu eine prothetischen Arbeit notwendigen Werkstoffe bilden in ihrer Summe eine Werkstoffkette. Diese beginnt mit der Auswahl der diamantierten Schleifkörper, setzt sich fort über die Abformmaterialien und Laborwerkstoffe und endet bei dem gusstechnischen Verhalten der verwendeten Legierung.

Ziel sollte es sein, die Summe der Fehler sowohl in der Arbeitskette als auch in der Werkstoffkette so klein wie möglich zu halten. Jeder dieser Werkstoffe beinhaltet eine materialimmanente Fehlerquote, die unbeeinflussbar ist.

Leider muss man feststellen, dass durch die Nichtbeachtung von Gebrauchsanweisungen die Fehlerquelle noch vergrößert wird. Dementsprechend hängt der Erfolg einer Abformung mit dem Wissen über die Zusammensetzung, die Eigenschaften und der richtigen Verarbeitung der Materialien zusammen [14].

Die Abformwerkstoffe werden in vier Hauptgruppen unterteilt [27, 28]:

- irreversibel starr
  - *Abformgips, Zinkoxid – Eugenol - Pasten*
- reversibel starr
  - *Thermoplastische Kompositionsmassen, Gutta - Percha*
- irreversibel elastisch
  - *Alginat, Elastomere: Silikone, Polyether, Polysulfide, lichthärtendes Abformmaterial*
- reversibel elastisch
  - *Hydrokolloid*

Trotz der Entwicklung abdruckloser computergesteuerter Herstellungsverfahren von Kronen und Brücken ist die Abformung noch immer die Methode der Wahl zur Übertragung der Mundsituation auf ein Meistermodell.

Arbeiten über die Abformgenauigkeit von Elastomeren stammen u.a. von *Borchers* [42], *Meiners* [31], *Schwickerath* [101], *Wichmann* [94] und *Wöstmann* [29]. *Wichmann* untersuchte über Abstands-, Höhen- und Durchmesserabweichungen von Gipsstümpfen gegenüber den Originalstümpfen und deren verzerrte Wiedergabe die Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere.

Im Jahre 1990 dominierten z.B. in der Schweiz Polyethermaterialien mit additionsvernetzenden Silikonen. Diese Abformmaterialien beanspruchten einen Marktanteil von 70% [30].
Im Jahre 1992 lieferte eine Umfrage unter 1014 Zahnärzten in Deutschland das Ergebnis, dass in über 80% der Fälle zur Herstellung von Kronen im indirekten Verfahren Silikone verwendet wurden, von denen die kondensationsvernetzenden eindeutig bevorzugt wurden [29].

Im Folgenden werden die heute klinisch relevanten und auch in dieser Arbeit relevanten Aspekte der Abformmaterialien als solches und der verwendeten Massen im Besonderen dargestellt.

3.6.1 Allgemeine Eigenschaften der Abformmaterialien

- **Fließverhalten**

Das Fließverhalten der Abformmaterialien nimmt in der Zeit nach Beginn des Anmischens einen unterschiedlichen Verlauf.
Anfangs weisen fast alle Elastomere ein etwa gleiches Fließvermögen auf. Die Materialien mittlerer Konsistenz, für die die Applikation mit der Spritze vorgesehen ist, weisen selbstverständlich anfangs ein höheres Fließvermögen auf, als Abformmaterialien fester Konsistenz.

In vergleichenden Untersuchungen elastomerer Abformmassen von *Welker* und *Mehner* [38] wurde gezeigt, dass bei A-Silikonen knetbarer Konsistenz ein rascher Anstieg im Fließverhalten nach Anmischbeginn zu verzeichnen ist. Polyether-Materialien und A-Silikonen mittlerer Konsistenz weisen erst ca. zwei Minuten nach dem Beginn des Anmischens ein erhöhtes Fließverhalten auf. Der Anstieg des Fließverhaltens korreliert mit einer Erhöhung der Viskosität, die wiederum mit dem Vernetzungsgrad in direktem Zusammenhang steht.

Borchers, Filitz und *Meyer* haben 1984 in einer In-vitro-Studie gezeigt, dass Stümpfe mit einem stilisierten Sulcus signifikant genauer abgeformt wurden als solche ohne Sulcus. Interessanterweise wurden die größten Genauigkeiten im zervikalen Bereich der nachempfundenen Zahnfleischtaschen erzielt. Diese Tatsache wird durch die veränderten Fließbedingungen während der Abformung erklärt [42].

- **Vernetzung und endogene Spannungen**

Die Vernetzung eines Abformmaterials beginnt mit der Zugabe des Härters. Während des Anmischvorganges verknüpfen sich die langen Fadenmoleküle der Grundsubstanz untereinander und bilden nach und nach gummielastische Geflechte. In diesen Geflechten sind die Füllstoffe eingelagert.

Bei der Abformung werden die zu diesem Zeitpunkt elastischen Anteile verformt. Diese können sich aber auf Grund der fortschreitenden Aushärtung und Vernetzung nicht mehr zurückstellen. Bei Abnahme der Abformung von dem Stumpf kann es nur zu einer teilweisen Rückstellung dieser elastisch verformten Anteile kommen. Die Folge ist eine Verzerrung der Abformung.

Um diese endogenen Spannungen zu vermeiden, sollte sowohl die Anmischzeit als auch die Reaktionsgeschwindigkeit so klein wie möglich gehalten werden, wie z.B. durch die richtige Verarbeitungs- u. Lagerungstemperatur, die exakte Härterdosierung und eine zügige homogene Anmischung.

- **Elastisches Verhalten**

Das Abformmaterial wird beim Entfernen von unter-sich-gehenden Stellen auf Zug und Druck beansprucht. Auf Grund plastischer Anteile im Material erfolgt keine vollständige Rückstellung.
Die verschiedenen Elastomere weisen je nach Größe der Gesamtverformung unterschiedliche Formänderungsreste auf. Wenn die Verformung größer als 30% ist, liegt nach *Marxkors* immer ein Formänderungsrest vor [2].
Geringere Deformationsbelastungen führen zu überproportional geringeren Verformungsresten. Sie lassen sich durch Verwendung entsprechend großer Abformlöffel erreichen.

Nicht nur die elastischen Verspannungen im Abformmaterial selbst führen zu einer Rückstellung und somit zu einer Verfälschung der Abformlumina, sondern auch

elastische Deformationen der Erstabformung oder des Abformlöffels (besonders bei der Verwendung zähplastischer Abformmaterialien) [31,40].

Untersuchungen von *Meiners* haben gezeigt, dass Modellstümpfe einerseits insgesamt kleiner sind als die Originalmodelle, andererseits jedoch auch Verzerrungen der Stumpflumina auftreten.
Er untersuchte die dreidimensionalen Veränderungen von Stümpfen mit unterschiedlichen Querschnitten (kreisförmig, rautenförmig und quadratisch) nach Abformung und Modellherstellung. Besonders kantige Formen des Stumpfes und insbesondere der Kantenwinkel hatten Einfluss auf die mangelhafte Modellgenauigkeit. Der runde Stumpf konnte vergleichsweise genau reproduziert werden. Bei den kantigen Stümpfen wurden erhebliche Abweichungen zum Original, insbesondere für die Diagonalstrecken gemessen. Es kam durch die Verringerung der Diagonalen zu tonnenförmigen Verzerrung.
Die Verkleinerung der Modellstümpfe führte er auf die endogenen Spannungen in den Abformmaterialien zurück, induziert durch elastische Deformationen der teilvernetzten Materialien bei der Abformung.
Als Gründe für die tonnenförmigen Verzerrungen der kantigen Stümpfe nannte er Volumenkontraktionen in den verfestigten Abformmassen, die in den oberflächennahen Schichten Zugspannungen hervorrufen. Bei einem kreisförmigen Stumpfquerschnitt kommt es zu einem gleichmäßig verteilten Spannungszustand, bei kantigen Querschnittsformen ist das nicht der Fall. Die Tendenz zum Ausgleich der Spannungen bei kantigem Querschnitt führt dann zu einer Verzerrung, insbesondere einer Verkürzung der Diagonalen.

- **Volumenverhalten**

Bei sämtlichen elastomeren Abformmassen treten während des Abbindevorganges und der Lagerung Volumenänderungen auf. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen [31]:

- Abbindekontraktion: Es liegt eine geringe Reaktionsdichte vor. Dementsprechend klein fällt die Abbindekontraktion aus.

- Thermische Kontraktion: Sie findet statt, wenn die Abformung von der Mundtemperatur (32°C) auf Raumtemperatur abkühlt.
- Lagerzeitkontraktion: Einerseits beruht sie auf weiteren Vernetzungsvorgängen nach dem Beginn der Mischung, andererseits verdunsten flüchtige Substanzen der Grundmasse und des Härters bzw. Reaktionsprodukte der Vernetzungsreaktion.
- Expansion: Durch Quellvorgänge bei der Lagerung im Wasser kommt es zur Expansion des Abformmaterials.

3.6.2 Spezielle Eigenschaften der verwendeten Abformmaterialien

- **K-Silikone**

Die Basiskomponente der K-Silikone enthält lineare Ketten mit endständigen OH-Gruppen, sogenannte Polysiloxane (Si–O–Si – Ketten).
Die übrigen Valenzen des Siliziumatoms sind mit Alkyl- oder Arylgruppen gesättigt (meist –CH3). Füllstoffe wie TiO2, ZnO oder Kieselgur beeinflussen die Fließeigenschaften des Abformmaterials. Als Weichmacher dient ein Zusatz von Paraffinöl.

Die Härterkomponente besteht aus tetrafunktionellem Äthyl- bzw. Methylsilikat und als Katalysator wird eine organischen Zinnverbindung genutzt.
Das tetrafunktionelle Härtermolekül reagiert unter Abspaltung von Alkohol nach dem Anmischen mit den Hydroxylgruppen des Siloxans. Dabei läuft eine Polykondensation ab. Beim Mischen der beiden Komponenten kommt es zur Kettenverlängerung und Vernetzung. Letztere kommt dadurch zustande, dass die Kettenmoleküle mehr als zwei funktionelle Gruppen aufweisen [31] (Abb. 8).

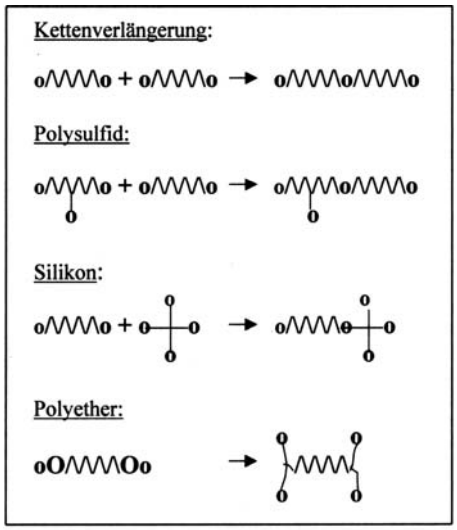

Abb. 8: Reaktionsschema der verschiedenen Elastomertypen Nach [31]

Der bei der Kondensation der Siloxane entstehende Alkohol verdunstet, bei Lagerung der Abformung kommt es dadurch zu einer Schrumpfung des Materials. Die Schrumpfung ist nach 48 Stunden noch nicht abgeschlossen [15].
Je höher der Füllstoffanteil und damit die Viskosität des Abformmaterials ist um so geringer ist dessen Schrumpfung. Die Schrumpfung beträgt zwischen 0,2 und 0,4 % lin. innerhalb von 24 Stunden [2,35]. Die Abformungen sollten innerhalb von einer Stunde ausgegossen werden.
Gegenüber Temperaturschwankungen sind sie weitgehend unempfindlich.

- **A– Silikone**

Um die Schrumpfungsvorgänge zu minimieren, wurden additionsvernetzende Silikone entwickelt, die bei der Vernetzungsreaktion keine Abspaltprodukte liefern.

Anstatt endständiger Hydroxylgruppen, wie bei K – Silikonen, kommen hier im Grundmolekül endständige Vinylgruppen (CH=CH2) vor.

Durch Addition reagieren diese mit den im Härter befindlichen Polysiloxanmolekülen, die seitlich H–Si– Gruppen tragen. Diese Vernetzung erfolgt mit einer organischen Platinverbindung als Katalysator. Es werden keine Nebenprodukte freigesetzt, die verdunsten können, was eine Schrumpfung des Materials zur Folge hätte [34].
Die A-Silikone müssen nicht innerhalb einer Stunde nach Entnahme der Abformung ausgegossen werden, wie es bei den K-Silikonen der Fall ist. Sie sind vielmehr über mehrere Tage lagerfähig. Die polymerisations- und lagerungsbedingte Schrumpfung beträgt weniger als 0,5 % lin. [38].

Beim Anmischen sollte jedoch darauf geachtet werden, dass keine Latexhandschuhe verwendet werden. Der Katalysator der meisten A-Silikone wird durch Latexpartikel in seiner Aktivität gehindert, was eine unzureichende Aushärtung des Materials zur Folge hat. Man sollte beim Anmischen Polyvinylchlorid – Handschuhe benutzen [32,33].

Abbildung 9 vergleicht die unterschiedliche Schrumpfung von hoch gefüllten mit niedrig gefüllten Silikonen, sowie die Abhängigkeit der Schrumpfung von der Vernetzungsart der Abformmaterialien.

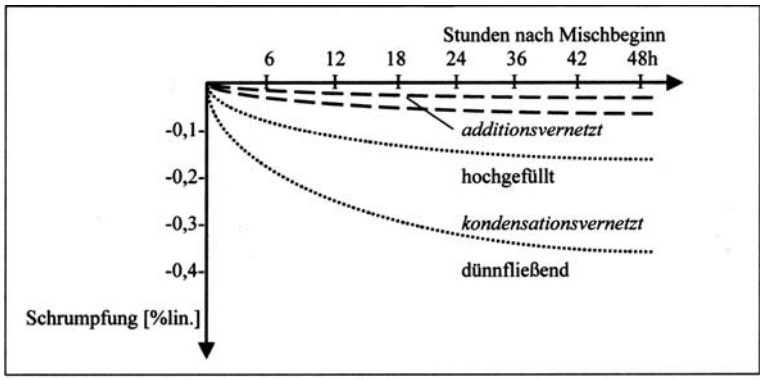

Abb. 9: Dimensionsverhalten von K- und A-Silikonen
Nach [2].

- **Polyether**

Das Ausgangsprodukt der Polyetherabformmaterialien ist ein Copolymerisat aus Äthylenoxid und Tetrahydrofuran im Molekülverhältnis 1:1[35]. Diese Heterozyklen der Basispaste addieren sich unter Ringöffnung zu linearen Makromolekülen. Die endständigen OH-Gruppen werden mit einer ungesättigten Säure verestert. Die Säure reagiert durch die Doppelbindung mit Äthylamin, wodurch die Molekülketten endständige Aziridin-Gruppen besitzen [36]. Äthylamin ist sehr reaktionsfähig und spaltet schnell auf. Die Säuren wirken katalytisch auf diese Verbindung ein. So kommt es zur Polyaddition. Dabei handelt es sich, wie bei den A-Silikonen, um eine Polyaddition ohne Abspaltung eines Nebenproduktes. Bei einer Lagerung kommt es demnach nur zu sehr geringen Dimensionsänderungen der Masse, die Abbindeschrumpfung liegt bei 0,2 % lin. [29,37].

Polyetherabformmassen weisen im Vergleich zu Silikonen weniger endogene Spannungen auf. Vergleicht man das Abbindeverhalten von Silikonen und Polyether stellt man fest, dass Polyether eine längere Aushärtungszeit gegenüber den Silikonen besitzt. Aufgrund der längeren Aushärtungszeit der Polyether werden gegenüber den K-Silikonen mehr endogene Spannungen durch Fließvorgänge abgebaut [29].

Bei Polyetherabformmassen und additionsvernetzenden Silikonen ist der Verformungsrest sehr gering [34,39]. Die Materialien besitzen eine gute Rückstellung bei der Wiedergabe von Unterschnitten [27].

Es wurden allergische Reaktionen auf Polyethermassen beschrieben. Aus diesem Grund sollte bei anamnestisch vorbelasteten Patienten auf ein anderes Abform-material zurückgegriffen werden [102].
Die physikalischen Eigenschaften der Polyetherabformmassen sind z.B. in Bezug auf die Dimensionsänderungen und die Quellbarkeit in Wasser, denen der A-Silikone leicht unterlegen. Beide Abformmassen stellen aber die präzisesten Abformmaterialien dar [103,104].

3.6.3 Abformmethoden

In dieser Arbeit kommen die Korrekturabformtechnik, die Doppelmisch- und Einphasenabformtechnik zur Anwendung, die im folgenden beschrieben werden.

- **Korrekturabformung**

Die Korrekturabformung zeichnet sich durch die zeitlich voneinander getrennten Abformungen aus. Mit einem fließfähigen Zweitmaterial wird die Erstabformung korrigiert und der Vorteil der Stempelwirkung der Erstabformung ausgenutzt. Dieses Abformverfahren wurde als erstes 1956 von *Stahl* als Doppelabdruckverfahren vorgestellt [85].

Die erste Abformung wird mit einem knetbaren K- oder A-Silikon nach Präparation der Zähne genommen (Erstabformung). Um eine Deformation des Abformlöffels und eine Verzerrung der gesamten Abformung durch die zähplastische Masse zu vermeiden, sollte ein perforierter metallischer Serienlöffel verwendet werden.

Die Löffelgröße sollte gewissenhaft ausgewählt werden. Der Abstand zwischen Zahn und Löffelwand muß ausreichend groß sein, um eine Verformung des Abformmaterials im Bereich von Unterschnitten zu vermeiden [62].

Die Erstabformung wird nach der Entnahme aus dem Mund sorgfältig beschnitten, um alle unter-sich-gehenden Stellen zu beseitigen und genügend Abflussmöglichkeiten für das dünnflüssige Korrekturmaterial zu schaffen. Das Material der Erstabformung wird so durch den Staudruck des Korrekturmaterials nur minimal verdrängt [86,87].

Die zweite Abformung wird nach Umspritzen der präparierten Zähne mit dem Korrekturmaterial mit kurzem kräftigem Druck durch das Replazieren der Erstabformung durchgeführt. Damit das dünnfließende Material in den Sulkus fließt, ist ein gewisser Druck notwendig. Er sollte aber nicht über die Applikationsphase

hinaus angewendet werden, da es sonst zu Ungenauigkeiten in der Abformung kommt.

Das Erstmaterial kann sich wegen der schnell zunehmenden Vernetzung des Zweitmaterials nicht zurückstellen, so dass diese Spannungen erst beim Abnehmen der Abformung frei werden. Durch das Rückstellen der Erstabformmasse werden die abgeformten Lumina verzerrt. Folglich führt das zu verkleinerten Modellstümpfen [28,88,94].

Der Verdrängungseffekt, den das Zeitmaterial auf das Erstmaterial ausübt, wird verfahrenstechnisch durch die Schaffung von Abflussmöglichkeiten in der Erstabformung auf ein Minimum reduziert. Die abgeformten Lumina fallen stets etwas kleiner aus. Die Abbindekontraktion des dünn ausfließenden Zweitmaterials ist so gering, dass sie keinen merklich positiven Einfluss auf die Dimensionsänderungen ausübt [89,90,91].

Diese Abformtechnik hat den Vorteil, durch den Staudruck beim Einbringen des Korrekturmaterials infragingival gelegene Präparationsgrenzen exakt darzustellen, da das dünnfließende Material in den Sulcus gepresst wird [105].

- **Doppelmischabformung**

Die Doppelmischabformung stellt ein Verfahren dar, in dem hoch und niedrig visköses Material gleichzeitig angemischt und appliziert wird. Auf diese Art werden Verdrängungseffekte, wie sie bei der Korrekturabformung durch den Stempeldruck hervorgerufen werden, vermieden. Das dünnfließende Material wird mit einer Spritze um die präparierten Zähne und in den Sulkus appliziert. Der Andruck wird dabei nur durch das Einsetzen des Abformlöffels mit dem schwerfließenden Material ausgeübt [92].
Die beiden Materialien, gleicher chemischer Herkunft, vermischen sich und binden gemeinsam ab. Dabei ist darauf zu achten, dass die Applikationsphase so kurz wie möglich gehalten wird, um eine übermäßige Vernetzung der Materialien bei der Verarbeitung zu vermeiden. Diese schon beim Einbringen des Abformlöffels in den

Mund vorhandenen endogenen Spannungen lösen sich erst nach Entnahme des Abformlöffels, was sich in geringfügig zu kleinen Lumina wiederspiegelt [2,93].

Fehlerquellen bei der Abformung, wie das Auftreten von o.g. endogenen Spannungen, oder auch Schrumpfungsvorgängen, können durch Verwendung von A-Silikonen, Langzeithärtern, Kühlung und kurze Lagerzeit nach der Abformung verringert werden [95].

- **Einphasenabformung**

Die Einphasenabformung zeichnet sich durch die Verwendung eines hochviskösen Material aus, das gerade noch mit der Abformmassenspritze verarbeitet werden kann.
Das Material sollte von der Viskosität her nicht leicht fließend, aber auch nicht knetbar sein. Der Vorgang erfolgt einzeitig, indem die Abformmasse um den präparierten Zahn gespritzt wird, während gleichzeitig der Abformlöffel mit der Masse beschickt wird.

Um einen gewissen Staudruck zu erreichen, sollte ein individueller Löffel verwendet werde. Verdrängungseffekte sind durch das einzeitige Vorgehen unerheblich. Schrumpfungsvorgänge und endogene Spannungen treten nur selten auf [2,29].
Die Verzerrungen bei der Einphasenabformung sind ohne Ausnahme auf den Einfluss der Abbindekontraktion zurückzuführen. Es sollte daher ein Material zum Einsatz kommen, das sich durch eine möglichst geringe Abbindekontraktion auszeichnet [94].
Bei korrekter Löffelauswahl und Verarbeitungstechnik sind mit dieser Abformtechnik und einem A-Silikon oder einem Polyether sehr präzise Abformungen zu erreichen.

4 Material und Methode

4.1 Verwendete Materialien

Die Arbeit wurde mit vier verschiedenen Schleifkörpern durchgeführt. Es wurden pro Schleifkörper zwei Zähne standardisiert beschliffen: ein Frontzahn und ein Molar.

Diese acht beschliffenen Zähne wurden in V2A - Stahl überführt, in Modellen befestigt und mit drei verschiedenen Abformmaterialien und -techniken jeweils fünfmal abgeformt. Folgende Tabelle führt die verwendeten Abformmaterialien und Abformmethoden auf (Tab.2).

Material	**Materialtyp**	**Methode**
Panasil putty soft	A- Silikon	Korrekturabformung + Doppelmischtechnik
Panasil contact plus (Firma: Kettenbach)	A- Silikon	Korrekturabformung + Doppelmischtechnik
Impregum Penta (Firma: Espe)	Polyether	Einphasenabformung

Tab. 2: Verwendete Abformmaterialien und Abformmethoden

4.2 Durchführung der Untersuchung

4.2.1 Herstellung der Prüfkörper

Bei Herstellung der Prüfkörper wurden Frasacozähne mit einem Konuswinkel standardisiert beschliffen.
In Vorversuchen erwies sich das Kopierfräsen durch Abtasten als nicht tauglich. Durch das Anwenden einer Schleifapparatur konnte der Präparationswinkel konstant gehalten und die Form des Präparationsstumpfes variabel gestaltet werden.

Die mit einem Konuswinkel standardisiert vorpräparierten Frasacozähne (Frontzahn und Molar) wurden exakt mit Doubliersilikon Wirosil und dem fräsbaren Kunststoff Technovit vervielfältigt. Somit standen vier identische Front- und vier identische Molaren – Kunststoffstümpfe zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung.

An diesen Kunststoffrohlingen wurden dann die entsprechenden Stufen mit den zu prüfenden Schleifkörpern präpariert. Das Anlegen der Stufe erfolgte unter Wasserkühlung mit einem roten Winkelstück und 14000 Umdrehungen pro Minute mit einem grob diamantierten Schleifkörper. Eine Nachbearbeitung mit dem feingekörnten Schleifkörper wurde mit 6000 Umdrehungen pro Minute durchgeführt.

Die in V2A- Stahl überführten Stümpfe dienten als Prüfkörper.

Das Beschleifen der Zähne geschah in zwei Präparationsschritten ähnlich der von *Sassen* angewendeten Vorgehensweise [12]:

- erster Schritt: Anlegen eines Konuswinkels
- zweiter Schritt: Anlegen der Präparationsstufen

Die Kunststoffrohlinge wurden mit den verschiedenen Schleifkörpern ausschließlich an der Präparationsgrenze nochmals beschliffen.

Nach Überführung der Stümpfe in V2A - Stahl wurden diese zur Abformung in Modellen fixiert. Dabei waren jeweils ein beschliffener Molar und ein Frontzahn mit gleicher Stufenpräparation in einem Modell montiert. So entstanden vier Modelle mit jeweils zwei Prüfkörpern.

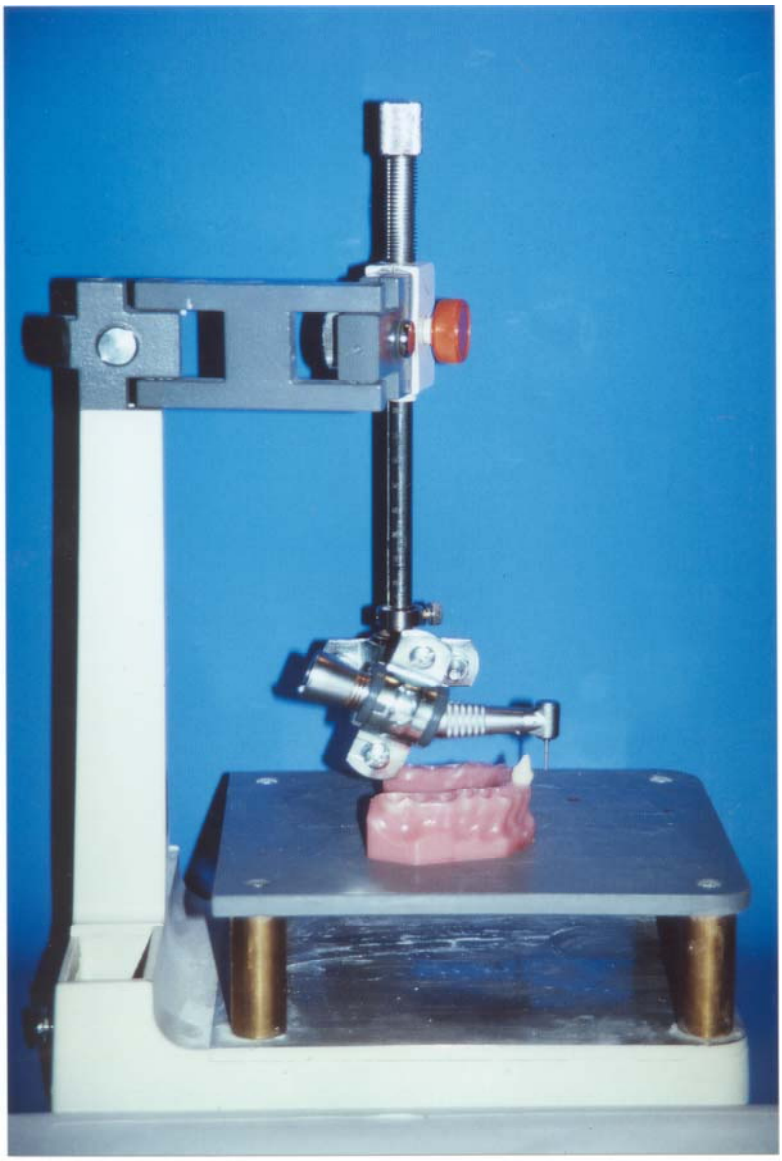

Abb. 10: Schleifapparatur

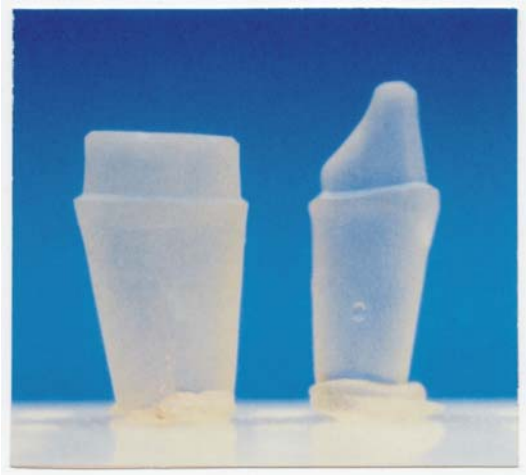

Abb. 11: Technovit – Stümpfe

Abb. 12: Stahlstümpfe

4.2.2 Abformung der Prüfkörper

Die Kombination von acht verschiedenen Stümpfen (vier verschiedene Stufen, erzeugt durch die unterschiedlichen Schleifkörper, mit jeweils einem Frontzahn und einem Molar) mit drei verschiedenen Abformtechniken (Korrekturabformung, Einphasenabformung, einzeitig- zweiphasige Technik) und jeweils fünf Abformungen lieferten 120 Modelle.

Als Abformlöffel dienten metallische Serienlöffel, die dünn mit einem auf die jeweils verwendete Abformmasse abgestimmten Haftlack bestrichen wurden. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Adhäsiv vor der Abformung ausreichend trocknete.

Die Abformung der Prüfkörper geschah durch Korrekturabformung, Doppelmischabformung und Einphasentechnik.

Die Verarbeitung der Materialien erfolgte bei konstanter Raumtemperatur. Es wurde Wert darauf gelegt, die Materialien in Bezug auf das Mischungsverhältnis, die Verarbeitungszeit und die Art der Vermischung nach Vorschrift des Herstellers anzuwenden.

Die Verarbeitung der A-Silikonabformmassen erfolgte mit Vinylhandschuhen.

Zur Dosierung und Anmischung der Polyetherabformmasse wurde das Pentamix-Gerät (*Espe*, Seefeld), ein motorgetriebener, automatischer Dosierer und Mischer für hochvisköse Abformmaterialien, genutzt.
Im Laborversuch zeigten sich die maschinengemischten den handgemischten Materialien hinsichtlich der Abformgenauigkeit überlegen [48]. Mit jedem untersuchten Material wurden fünf Abformreihen durchgeführt.

Durchführung der Abformungen:

Einphasentechnik: Umspritzen der Prüfstümpfe, paralleles Beschicken des glatten Metalllöffels mit Hilfe des Pentamix-Gerätes (*Impregum Penta*, *Espe*, Seefeld), Abformung, Verarbeitungszeit: 2 min. 45 sec Abbindezeit 10 min., Modellherstellung nach 60 min. Lagerung der Abformung.

Korrekturabformung: Vorabformung mit handgemischtem A-Silikon (*Panasil putty soft, Kettenbach*, Eschenburg), Beschicken des perforierten Metalllöffels, Verarbeitungszeit 2 min., Abbindezeit 6 min., Beschneiden der Erstabformung, Umspritzen der Prüfstümpfe mit leichtfließendem A-Silikon aus der Kartusche (*Panasil contact plus, Kettenbach*, Eschenburg), Abformung, Abbindezeit 4 min., Modellherstellung nach 60 min. Lagerung der Abformung.

Doppelmischabformung: Umspritzen der Prüfstümpfe mit leichtfließendem A-Silikon (wie bei der Einphasentechnik), paralleles Beschicken des perforierten Metalllöffels mit handgemischtem knetbarem A- Silikon (s.o.), unmittelbare Abformung, Abbindezeit 6 min., Modellherstellung nach 60 min. Lagerung der Abformung.

4.2.3 Modell- und Messkäppchenherstellung

Sämtliche Abformungen wurden nach einer Lagerzeit von einer Stunde mit Fuji Rock Spezialhartgips, Typ-IV-Gips (*Fa. G. C. Corporation*) ausgegossen, wobei pro Abformung 300g Gips mit 60 ml Aqua dest. 60 sec im Vakuumanmischgerät angerührt wurden.
Um die Rückstellvorgänge nach Entnahme der Abformungen weitgehend zu gewährleisten, erfolgte das Ausgießen der Abformungen nach 60 min. Die Herstellerangaben lauteten, die Abformungen frühestens nach 30 min., spätestens

nach 14 Tagen auszugießen. Daher wurden die Abformungen nach 24 Stunden vom Gipsmodell entfernt und nach weiteren 24 Stunden Modellreifung wurden die Gipsstümpfe gesägt. Die Präparationsgrenzen wurden sorgfältig unter einem Stereomikroskop freigelegt.

Die Gipsstümpfe wurden vor Modellation der Käppchen mit *Die Prep Hardener* (*Fa. Beele de St. Claire*) und blauem Stumpflack behandelt. Nach dem Ziehen der Kunststoffkäppchen wurde der Rand bis zur Präparationsgrenze mit Zervikalwachs (*Yeti* Dentalprodukte) und Ästhetikwachs (S-U Ästhetikwachs A nach *M.H. Polz*) modelliert.

Vor dem Einbetten der Muffeln zur Käppchenherstellung wurde eine Verdünnungsreihe hergestellt, um das günstigste Mischungsverhältnis von Einbettmasse und Einbettflüssigkeit zu ermitteln (23ml *Deguvest* Flüssigkeit + 11ml dest.Wasser + 150g Einbettmasse *Deguvest CF*) .

Die Verdünnungsreihe mit vier verschiedenen Mischungsverhältnissen zwischen Einbettmassenflüssigkeit und Aqua dest. gewährleistete eine Reduktion der Gesamtexpansion des Gussobjektes und dessen Reproduzierbarkeit, da diese Versuchsreihe exakt auf die verwendeten Materialien, wie z.B. Phantommetall als Legierung, abgestimmt werden konnte [1]. Sie diente gleichzeitig zur Standardisierung weiterer Versuche.

Die Wachsmodellationen pro Abformreihe wurden nach Paaren (Frontzahn/Molar) in derselben Muffel der Größe 3, nach Besprühen mit einem Benetzungsmittel (*Waxit,* Fa. *Degussa*) eingebettet. Auf diese Art war das konstante Mischungsverhältnis pro Abformreihe gewährleistet.

---

[1] Die phosphatgebundenen Einbettmassen verdanken ihren großen Anwendungsbereich u.a. ihrer steuerbaren Abbindeexpansion und der reproduzierbaren thermischen Expansion. Basis für die Herstellung einer präzisen prothetischen Versorgung ist auch das exakte Arbeiten beim Einbetten der Wachsmodellation unter Berücksichtigung der Angaben des jeweiligen Herstellers [49].
Schon 1983 untersuchten Kollmannsperger und Sauer die Abbindeexpansion von Einbettmassen mit variierten Mischungsverhältnissen. Schon damals führten die vom Hersteller vorgeschriebenen Mischungsverhältnisse zu einem Expansionsverhalten, das der Schrumpfung der zu verarbeiteten Legierungen nicht immer entsprach [50].

Das Wachsaustreiben erfolgte bei 300° C im ersten Ofen. Dann erfolgte das 30-minütige Vorwärmen der Muffeln im zweiten Ofen bei 560° C und weitere 45 Minuten bei 700° C.

Die Muffeln wurden anschließend mit *Phantom-Metall NF* (Fa. *Degussa*) in einer Tiegelschleuder (*TS 3*, Fa. *Degussa*) bei 1100° C ausgegossen. Die gegossenen Käppchen wurden nach langsamen Abkühlen und vorsichtigem Ausbetten auf den Gipsstümpfen spaltfrei angepasst, nachdem eventuell vorhandene Gussperlen vorsichtig mit einem Bohrer entfernt worden waren.

Abb. 13: Stumpf mit Käppchen

Nachdem die fertigen Käppchen jeweils auf den Originalstumpf zurückgesetzt worden waren dienten sie zur Messung der zervikalen Diskrepanz, also dem Abstand zwischen Präparationsgrenze und Kronenrand (Abb. 13).

4.2.4 Messung der Randspalten

Die Phantommetallkäppchen wurden zur Ermittlung der Randspalten und somit ihrer Passgenauigkeit ohne Zement auf den Prüfkörper zurückgesetzt.

An jedem Käppchen wurden sechs Messungen vorgenommen, deren Lage durch Markierungen am Prüfkörper definiert waren. Nur so war die zirkuläre Randspaltenmessung reproduzierbar möglich. Die Kronenrandschlussgenauigkeit der Käppchen wurde auf dem Originalstumpf mit Hilfe eines Messmakroskops (Fa. *Leica, M 420* mit Mitutoyo-Meßuhren) ermittelt.

Es wurden jeweils die acht Prüfkörper mit fünf Abformungen in derselben Abformmethode hergestellt. Auf Grund der drei gewählten Abformmethoden konnte man 120 Messkäppchen herstellen und dadurch ergaben sich insgesamt 720 Messstellen bei dieser Untersuchung.

Die Reproduzierbarkeit der Messungen betrug jeweils +/- 10 µm und wurde durch den gleichbleibenden Einblickwinkel beim Messen für alle Messstellen zusätzlich gewährleistet (Abb.14).

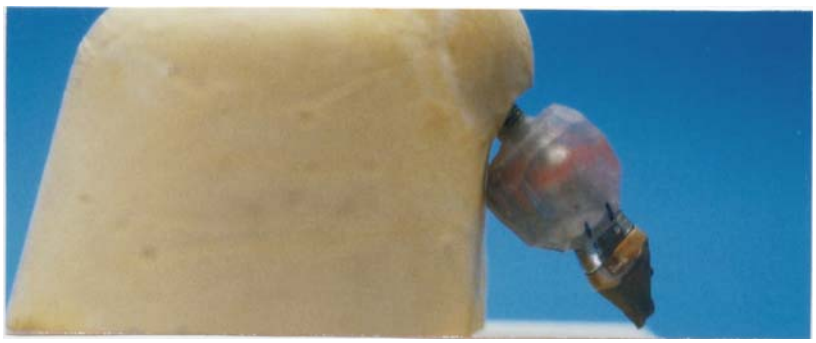

Abb. 14: Messhalterung mit Stumpf und Käppchen

Zur Ermittlung der Paßungenauigkeit wurde die nach *Holmes* beschriebene absolute marginale Diskrepanz gemessen (s. Kap. 2.3).

Die absolute marginale Diskrepanz ist definiert als die senkrecht zur Verbindungslinie zwischen der Innenkante des Kronenrandes und der Präparationsgrenze gemessene Strecke [16] (Abb. 4 u. 5).

4.2.5 Weitere Untersuchungskriterien

Zusätzlich wurde die Handhabung der verschiedenen Schleifkörper und Abformarten subjektiv bewertet.

4.2.6 Statistische Auswertung und grafische Darstellung der Messergebnisse

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte per EDV unter Einsatz des Statistikprogramms SPSS.
Da die Daten asymmetrisch, zweigipflig verteilt sind und sich um den Nullpunkt häufen, war eine Boxplotdarstellung angebracht. Die Boxen repräsentieren den Interquartilabstand. In diesem Bereich konzentrieren sich 50% der gemessenen Werte. Die Balken stellen den Abstand zwischen dem 10%- und dem 90%- Perzentil dar, d.h. sie repräsentieren 80% der Werte. Das arithmetische Mittel von jeweils 30 Randspaltmessungen an 5 Messkäppchen wird anhand des Mittelwertes (horizontaler Balken) dargestellt.

Als nicht parametrische Tests dienten der Kruskal–Wallis-Test und der Mann-Whitney-Test , um Aussagen über die Signifikanz der Unterschiede der Messwerte mit den verschiedenen Schleifkörpern zu bekommen.

Trotz einer gewissen Redundanz wurden die Messwerte in mehreren Grafiken einzeln nach Abformart und Zahnform dargestellt, um eine entsprechende Übersichtlichkeit zu erreichen.

Die gemessenen Randspalten wurden als Mittelwert angegeben, wobei der Mittelwert bei J- oder U- förmigen Verteilungen (also nicht normal verteilten Daten) nicht als Repräsentanzwert angesehen werden kann.

Der größte Teil solcher Studien liefert die gemessenen Randspalten jedoch in Mittelwerten, so dass hier, trotz der doch begrenzten Aussage, zu Vergleichszwecken und um eine Übersicht zu geben immer zusätzlich der Mittelwert angegeben wurde.

4.3 Qualitätssicherung - Dateneingabe

Die Messwerte wurden mit Hilfe des verwendeten Messprogramms direkt in eine Paradox-Tabelle eingelesen. Somit ist ein Übertragungsfehler der gemessenen Strecken ausgeschlossen. Anschließend wurde diese Tabelle per Diskette in das Programm SPSS/WIN 9.0 übertragen und dort ausgewertet.

5 Ergebnisse

5.1 Gesamtvergleich der Ergebnisse nach Schleifkörperform und Abformtechnik

Die verwendeten Schleifkörper mit ihren unterschiedlichen Formen wurden zur besseren Übersicht in Stufe 1 bis 4 eingeteilt, siehe Tab. 3.

Stufe 1	Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors
Stufe 2	90° abgewinkelte Spitze
Stufe 3	Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze
Stufe 4	90° abgewinkelte Spitze mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze

Tab. 3: Verwendete Schleifkörper und ihre Zuordnung

Abb.16 zeigt die Streuung von insgesamt 709 gemessenen Werten. Die Werte wurden nach der Schleifkörperform (Stufe1-4) und nach den Abformtechniken (Korrektur-, Einphasen- und Doppelmischabformung) sortiert.

Die Ergebnisse der vier verschiedenen Schleifkörper (Stufe 1 bis 4) erreichten mit allen verwendeten Abformtechniken Werte unter 100 µm.

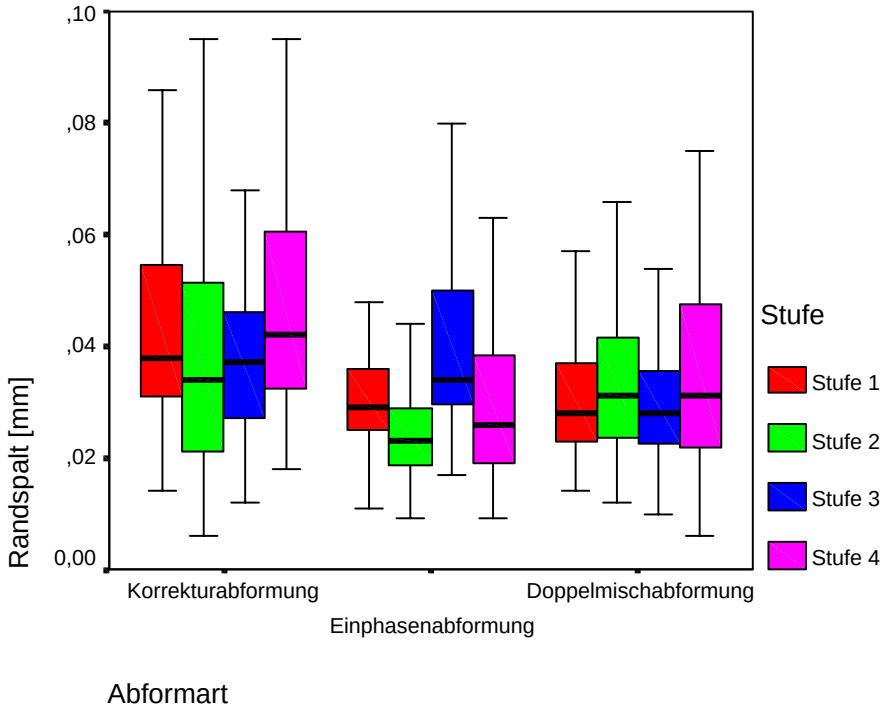

Abb. 15: Verteilung der Messergebnisse nach Schleifkörperform und Abformtechnik

Die Werte der Randspaltmessungen von Stufe 1, 2 und 4 waren bei der Korrekturabformung breiter gestreut, als bei Verwendung der Einphasen- und Doppelmischabformung.

Kleinste Streubreiten wurden mit Stufe 1 und 2 unter Verwendung der Einphasenabformtechnik gefunden, wobei die Stufe 2 den kleineren Mittelwert aufweist. Tendenziell liegen die Werte der vier verschiedenen Stufen bei der Doppelmischabformtechnik am dichtesten beieinander. Sowohl die Streubreiten als auch die Mittelwerte waren in den Boxplots bei der Doppelmischabformtechnik um 30 µm konzentriert.

Hohe Unterschiede bezüglich der Mittelwerte stellten sich bei der Verwendung der Stufe 2 und 4 heraus. Bei Verwendung der Einphasenabformtechnik erreichte man im Vergleich zur Korrekturabformtechnik mit diesen Schleifkörpern merklich

geringere Werte als dies bei den anderen Stufen zwischen diesen Abformtechniken der Fall war.

Die Interpretation der Grafik lässt jedoch keine Aussage zu, ob die Einphasenabformung oder die Doppelmischabformung für eine Präparation mit dem Schleifkörper nach *Marxkors* besser geeignet ist.

5.2 Vergleich der Ergebnisse des jeweiligen Schleifkörpers nach Abformtechnik und Stumpfform

In Abb.16 bis Abb.19 wird die Verteilung der Randspaltenmessungen nach den verschiedenen Schleifkörpern (d. h. nach den unterschiedlichen Präparationsarten) dargestellt.

5.2.1 Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf

Gute Ergebnisse mit dem **ersten Schleifkörper**, dem zylindrischen Schleifköper mit kegelförmigem Kopf nach *Marxkors*, erreichte man sowohl beim Beschleifen von Molaren als auch von Frontzähnen. Die Molarenstümpfe zeigen die geringsten Randspaltenbreiten bei der Doppelmischabformtechnik, die Frontzahnstümpfe weisen dagegen mit der Einphasentechnik die kleinsten Randspaltenbreiten auf Abb. 16).

Stufe 1	Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors

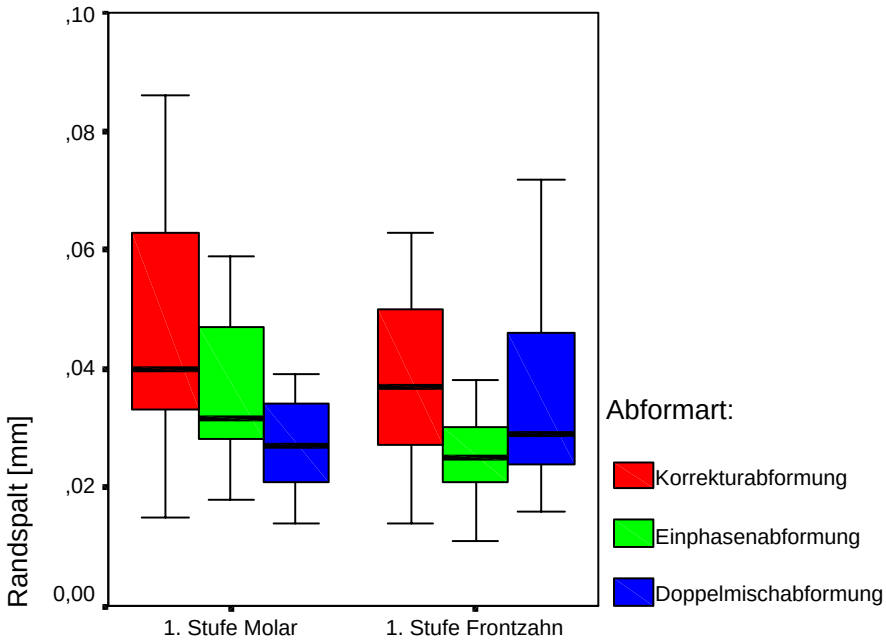

Abb. 16: Verteilung der Messergebnisse des ersten Schleifkörpers nach Stumpfform und Abformtechnik

Die Einphasenabformungen der sowohl mit dem ersten und als auch mit dem zweiten Schleifkörper beschliffenen Frontzähne zeigen eine sehr geringe Streubreite in der Boxplotdarstellung. Demgegenüber sind die Werte der Randspaltmessungen der Molarenstümpfe etwas breiter gestreut.

5.2.2 90° abgewinkelte Spitze

Den kleinsten Mittelwert erreicht die Einphasenabformung des mit dem **zweiten Schleifkörper**, 90°- Stufe, beschliffenen Frontzahnes. Bei der Betrachtung der Streubreite ist festzustellen, dass die Molaren- und Frontzahnwerte mit der Korrekturabformtechnik breiter streuen, als mit der Einphasen- und Doppelmischabformtechnik (Abb. 17).

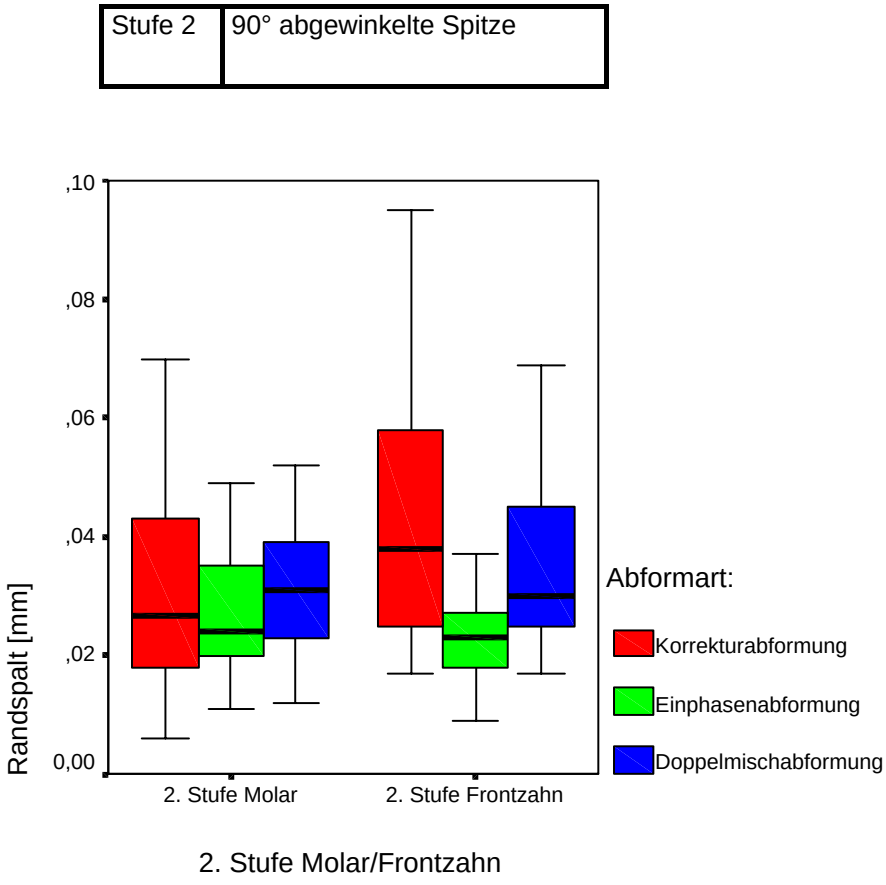

Abb. 17: Verteilung der Messergebnisse des zweiten Schleifkörpers nach Stumpfform und Abformtechnik

5.2.3 Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf und abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze

Die Ergebnisse bei der Verwendung des **dritten Schleifkörpers** (abgerundete Spitze) weisen eine relativ geringe Streubreite der Frontzahnwerte auf.

Stufe 3	Zylindrischer Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze

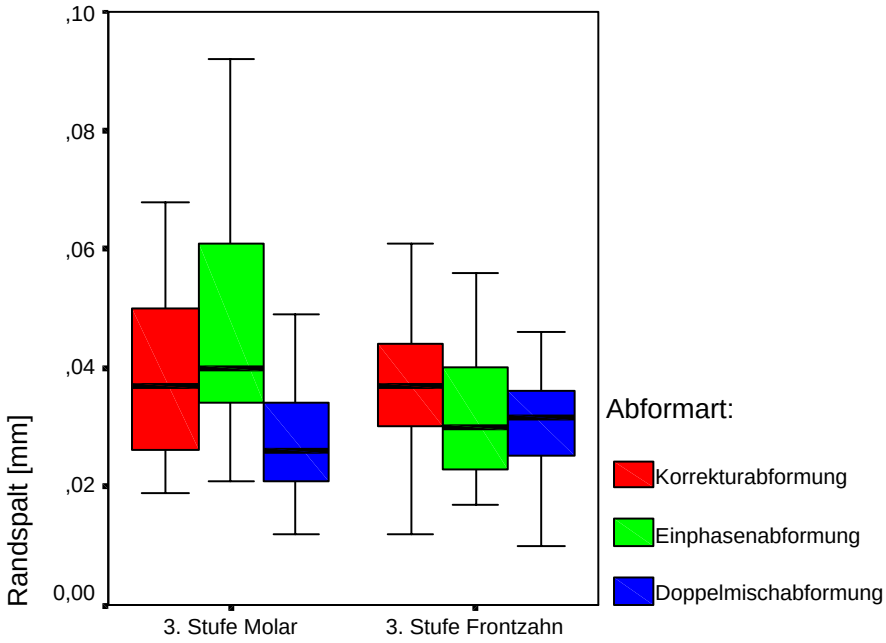

Abb. 18: Verteilung der Messergebnisse des dritten Schleifkörpers nach Stumpfform und Abformtechnik

Die Mittelwerte aller Abformtechniken streuen hier um 30 µm (Abb.18).Ähnlich dicht beieinander liegende Mittelwerte findet man nur unter den mit dem zweiten Schleifkörper beschliffenen Molarenwerten (Abb. 17).

5.2.4 90° abgewinkelte Spitze mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze

Gute Ergebnisse erzielt man mit dem **vierten Schleifkörper** (90° und abgerundete Stufe) beim Beschleifen von Molaren und deren Abformung mit der Einphasen- und Doppelmischabformtechnik. Nur leicht höhere Mittelwerte erzielt man auch bei den Frontzähnen mit den gleichen Abformtechniken.
Dieser Schleifkörper schneidet sowohl bei der Molaren- als auch bei der Frontzahnpräparation in Verbindung mit der Korrekturabformtechnik schlechter ab. Die jeweiligen Mittelwerte liegen bei 40 µm und 50 µm , die zu den schlechtesten Mittelwerten zählen (Abb. 19).

Stufe 4	90° abgewinkelte Spitze mit abgerundetem Übergang zwischen Schaft und Spitze

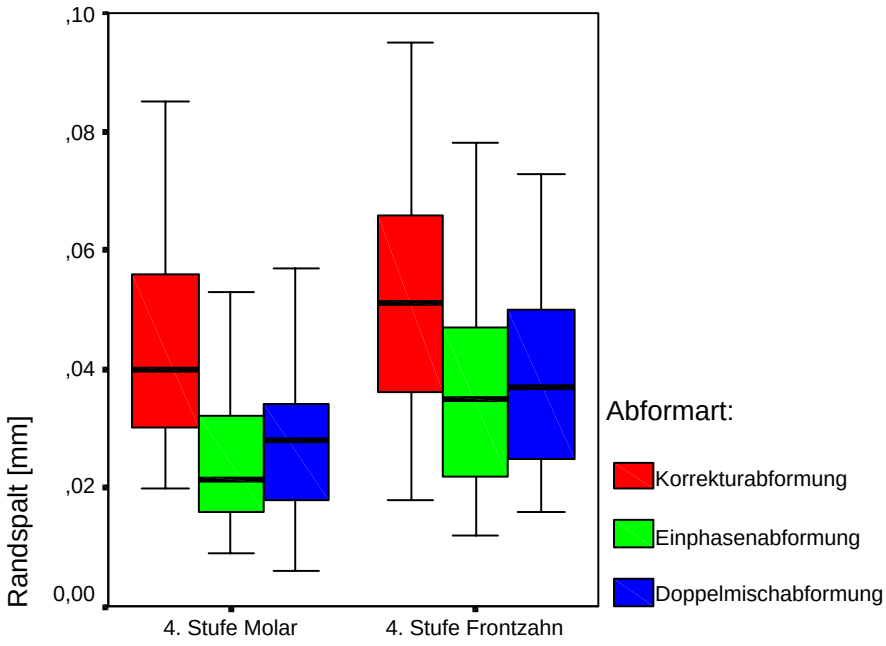

Abb. 19: Verteilung der Messergebnisse des vierten Schleifkörpers nach Stumpfform und Abformtechnik

5.3 Ergebnisse der Signifikanzprüfung

Statistisch verifizierbare Unterschiede sind nach Durchführung des nichtparametrischen Tests nach Mann-Whitney nur bei der Einphasen- und der Korrekturabformtechnik erkennbar, siehe Tab.4.

Nichtparametrische Tests Mann-Whitney-Test: asymtotische Signifikanzen									
Molar									
	Korrekturabf.			**Einphasenabf.**			**Doppelmischabf.**		
	90°	abger.	90°+ab.	90°	abger.	90°+ab.	90°	abger.	90°+ab.
stand.	0,001***	0,051	0,455	0,002 **	0,015 *	0 ***	0,336	0,933	0,912
90°		0,23	0,003 **		0 ***	0,417		0,347	0,564
abger,			0,231			0 ***			0,952
Frontzahn									
	Korrekturabf.			**Einphasenabf.**			**Doppelmischabf.**		
	90°	abger.	90°+ab.	90°	abger.	90°+ab.	90°	abger.	90°+ab.
stand.	0,335	0,988	0,007 **	0,11	0,043 *	0,008 **	0,691	0,921	0,276
90°		0,42	0,165		0,001***	0,001***		0,704	0,392
abger,			0,005 **			0,529			0,122
stand.:	1.Stufe								
90°:	2.Stufe								
abger.:	3.Stufe								
90°+ab:	4.Stufe								

Tab.4: Ergebnisse der Signifikanzprüfung

Die Tab. 4 listet die Matrizen der signifikanten Unterschiede zwischen den Werten der verschiedenen Schleifkörper auf (*: p<= 0,05 signifikant, **: p<= 0,01 sehr signifikant, ***: p<= 0,001 höchst signifikant).

Bezüglich der zervikalen Diskrepanz mit der Doppelmischabformtechnik konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier verschiedenen Präparationsformen festgestellt werden (U-Test: p>0,05).

Höchst signifikante Unterschiede fanden sich in erster Linie in der Kategorie der Einphasenabformtechnik mit Impregum.
Tendenziell wurden bei der Präparation von Frontzähnen bessere Werte mit dem Schleifkörper nach *Marxkors* erreicht, als mit den abgerundeten bzw. 90°+ abgerundeten Formen (Abb. 20).

Signifikante Unterschiede

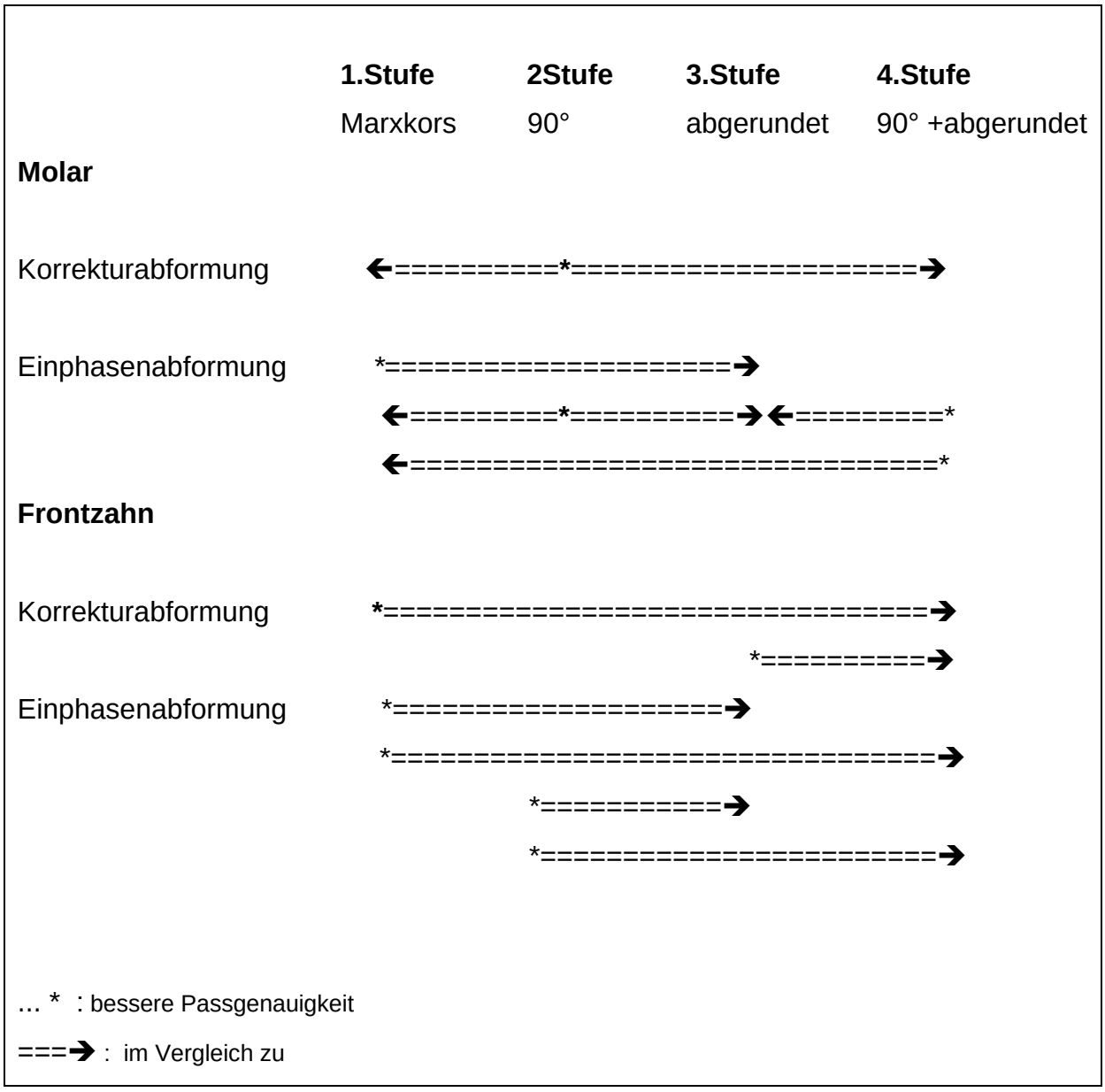

Abb. 20: grafische Darstellung der signifikanten Unterschiede

In der Kategorie Frontzahn schnitt die Form 90° + abgerundet (Stufe 4) sowohl mit der Korrekturabformung, als auch der Einphasenabformung im Vergleich zu den anderen Schleifkörpern (Stufe 1-3) am schlechtesten ab.

Der Schleifkörper nach Marxkors (Stufe 1) war unter Verwendung der Einphasenabformtechnik sowohl bei Front- als auch bei Molarenstümpfen der abgerundeten modifizierten Marxkorsspitze (Stufe 3) überlegen.

5.4 Betrachtungen der Mittelwerte, Minima und Maxima

In Tab. 5 sind die Mittelwerte, Minima und Maxima nach den verschiedenen Abformtechniken, den unterschiedlichen Präparationsarten und den verschiedenen Stumpfformen (Molar- und Frontzahn) aufgelistet.

Es wurden bei allen Präparations- und Abformtechniken sowohl beim Molar als auch beim Frontzahn stets Werte unter 200 µm erreicht.

Minima von 10 µm wurden normalerweise in allen Abformtechniken gefunden. Sowohl die Korrekturabformung der mit dem vierten Schleifkörper beschliffenen Stümpfe, als auch die Einphasenabformung der mit dem dritten Schleifkörper beschliffenen Stümpfe lieferte allerdings nur minimale Werte von 20 µm.
Maximale Werte von 100 µm wurden nur bei den Korrekturabformungen der Frontzahnstümpfe gemessen, die mit dem zweiten und vierten Schleifkörper beschliffenen wurden. Einphasen- und Doppelmischabformung lieferten maximale Werte von 90 µm.

Die mittleren Randspalten schwanken zwischen 20 µm bis 50 µm, wobei die niedrigeren Werte eher bei der Einphasen- und Doppelmischabformtechnik zu finden sind. Hinsichtlich der Differenzierung Molar- und Frontzahnstumpf ist keine Tendenz zu kleineren bzw. größeren Werten erkennbar.

Statistiken						
[µm]						
				Mittelwert	**Minimum**	**Maximum**
Korrekturabf.		Marxkors	Molar	48,67	20	90
			Frontzahn	37,62	10	60
		90°	Molar	31,97	10	90
			Frontzahn	44,87	20	100
		abgerundet	Molar	37,9	20	70
			Frontzahn	37,1	10	60
		90°+ abger.	Molar	44,47	20	90
			Frontzahn	50,1	20	100
Einphasenabf.		Marxkors	Molar	36,5	20	60
			Frontzahn	25,67	10	40
		90°	Molar	26,03	10	50
			Frontzahn	23,07	10	40
		abgerundet	Molar	47,41	20	90
			Frontzahn	32,67	20	60
		90°+ abger.	Molar	24,77	10	50
			Frontzahn	36,55	10	80
Doppelmischabf.		Marxkors	Molar	29,83	10	70
			Frontzahn	35	20	70
		90°	Molar	31,87	10	80
			Frontzahn	36,59	20	80
		abgerundet	Molar	28,9	10	60
			Frontzahn	33,07	10	70
		90°+ abger.	Molar	31,33	10	80
			Frontzahn	41,07	20	90

Tab. 5: Mittelwerte, Minima und Maxima der verschiedenen Abformtechniken, Präparationsarten und Zahnformen

5.5 Darstellung der Ergebnisse aus den verschiedenen Abformtechniken und Betrachtungen der Häufigkeitsverteilung

In Tab.6 sind die mittleren Spaltbreiten nach den drei unterschiedlichen Abformtechniken aufgelistet. Die Größe N gibt die Anzahl der Messungen an.

Die mittleren Randspalten liegen im Schnitt zwischen 30 und 40 µm. In der Kategorie der Einphasenabformtechnik wurden die kleinsten mittleren Randspalten mit 31µm gemessen. Den größten Mittelwert erzielte die Gruppe der Korrekturabformung mit 41 µm.

Randspalt [µm]

Abformtechnik	Mittelwert	N
Korrekturabformung	41 µm	238
Einphasenabformung	31 µm	235
Doppelmischabformung	33 µm	236
Insgesamt	35 µm	709

Tab. 6: Mittlere Spaltbreiten an allen Prüfkörpern in Bezug auf die Abformtechniken: Korrektur-, Einphasen- und Doppelmischabformung

Die schon von *Meiners* beschriebene charakteristische asymmetrische, zweigipflige Verteilungsform bei Randspaltuntersuchungen ist bei dieser Untersuchung besonders deutlich an den Molarenwerten zu erkennen [51,52].
Die Beobachtungen häufen sich auf der linken Seite, nahe dem natürlichen Nullpunkt, was den Versuch, die marginale Diskrepanz so klein wie möglich zu halten, wiederspiegelt. Die Überprüfung mit dem Chi- Quadrat- Anpassungstest

zeigte, dass sich die Verteilung der Messwerte signifikant und nicht zufällig von einer Normalverteilung unterscheiden.

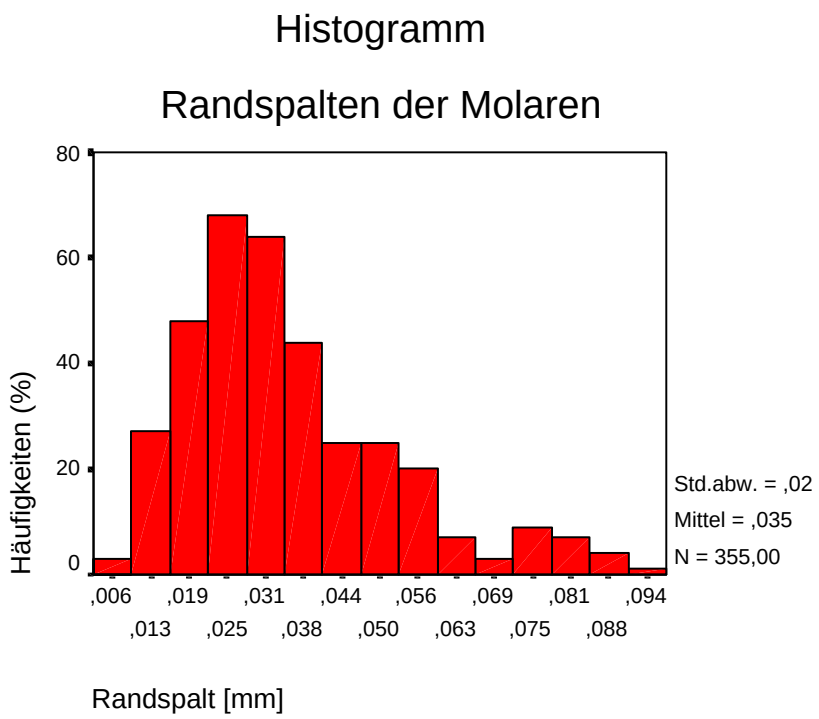

Abb.21: Klassifizierte Häufigkeitsverteilung für Randspaltmessungen an Molarenprüfkörpern, mit Korrektur, Doppelmisch- und Einphasenabformtechnik.

In Abb. 21 wurden die Randspaltenbreiten an Molarenprüfkörpern in einer Häufigkeitsverteilung mit einer Klassenbreite von 6 µm bzw. 7 µm aufgetragen.

Deutlich erkennbar ist der Häufigkeitsgipfel bei 25 µm, der ca. 70% der gemessenen Molarenwerte ausmacht. Der zweite Häufigkeitsgipfel befindet sich bei 75 µm. In eingipfligen Häufigkeitsverteilungen können die Meßergebnisse zu einem prägnanten Wert, dem Mittelwert, zusammengefasst werden. Der Mittelwert in dieser J–förmigen Verteilung – sie gleicht einem gespiegeltem „J“ - kann nicht als Repräsentanzwert angesehen werden, da er in diesem Fall keine gute zusammenfassende Größe darstellt. Aus diesem Grund werden beide Häufigkeitsgipfel gesondert betrachtet [53].

5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es ist eine Tendenz erkennbar, durch die Wahl des Schleifkörpers und der Abformtechnik einen Einfluss auf den Abformerfolg ausüben zu können.
Die Wahl des Schleifkörpers ist im Zusammenhang mit der jeweiligen Zahnform zu sehen.

Frontzahnpräparation:
Mit dem zylindrischen Schleifkörper mit kegelförmigem Kopf nach Marxkors (Stufe 1) sind beim Beschleifen von Frontzähnen sowohl unter Verwendung der Korrekturabformtechnik, als auch unter Verwendung der Einphasenabformtechnik bessere Ergebnisse erzielt worden als mit den Schleifkörpern abgerundete Spitze (Stufe 3) und 90° + abgerundete Spitze (Stufe 4).

Molarenpräparation:
Hinsichtlich der Molarenpräparation sind abhängig von der Abformtechnik und der Wahl des Schleifkörpers sehr unterschiedliche Ergebnisse möglich. Unter Anwendung der Einphasenabformtechnik hebt sich leicht die 90°+ abgerundete Schleifkörperform (Stufe 4) hervor. Die zylindrische Schleifkörperform mit kegelförmigem Kopf nach *Marxkors* (Stufe 1) ist aber auch in dieser Kategorie der abgerundeten Schleifkörperspitze (Stufe 3) überlegen.

6 Diskussion

6.1 Handhabung der Schleifkörper und Abformmaterialien – eine subjektive Bewertung

Das Beschleifen der Kunststoffstümpfe mit den unterschiedlichen Schleifkörpern zeigte, dass die Präparationsgrenze bei der Verwendung der 90° abgewinkelten Spitze aufgrund der scharfen Kante einfacher zu erkennen war als bei den abgerundeten Formen. Dadurch konnten die Stümpfe mit der deutlich erkennbaren Stufe subjektiv schneller exakt beschliffen werden.

Am Patienten ist das Anlegen einer zirkulären Stufe oft sehr problematisch. Einen zirkulären gleichmäßigen Präparationsboden ohne Wellen und Einziehungen ist durch die Handführung in vivo kaum zu verwirklichen. Eine Arbeit von *Seymour et al.* stellt dieses Problem der exakten Einhaltung sowohl der Breite als auch des Winkels der Präparationsstufe dar. Er kam zu dem Ergebnis, dass der größte Teil der beschliffenen Zähne eine zu schmale Stufe hatte und 45% der gemessenen Präparationswinkel waren zu groß [43].

Ein Abgleiten des Schleifkörpers auf der Schrägen konnte in dieser in vitro Arbeit durch die Halterung am Stativ verhindert werden. Zusätzlich erleichterte die Verwendung eines Stativs beim Beschleifen der Stümpfe das Einhalten eines definierten Anstellwinkels zur Bezugsebene.

Eine gewisse Toleranz ist aber durch das Lagerspiel des Mikromotors und vor allem der Gelenke der Haltevorrichtung nicht zu vermeiden.

So wurden jeweils ein Molar und ein Frontzahn mit einem fabrikneuen Schleifkörper präpariert. Da der innovative Schleifer aber nur zur endgültigen Formgebung des Randbereiches genutzt wurde und eine Vorpräparation mit konventionellen Schleifkörpern erfolgte, ist ein Verschleiß als sehr gering einzustufen.

Die Handhabung der drei verschiedenen Abformmethoden gestaltete sich bei der Einphasenabformung (Abformmaterial: Impregum) mit Hilfe des Pentamix- Gerätes (Espe, Seefeld) als besonders einfach und leicht. Der Vorteil dieses Automixsystems ist, dass eine konstante Mischqualität erreicht werden konnte. Das verwendete Material ist blasenfrei und exakt dosierbar. Negative Einflüsse durch Abweichungen vom vorgeschriebenen Mischungsverhältnis auf die physikalischen Eigenschaften des Abformmaterials werden durch dieses Anmischsystem vermieden.

6.2 Diskussion der Versuchsmethode

Die Qualität einer prothetischen Restauration hängt einerseits von den einzelnen Arbeitsschritten - Zahnpräparation, Abformung, Herstellung des Gussobjektes und dem Einsetzen der fertigen Krone – der sogenannten Arbeitskette ab.
Andererseits haben auch die Auswahl der verwendeten Werkstoffe, wie die verwendeten Schleifkörper, die Materialeigenschaften der Abformmaterialien und der Laborwerkstoffe einen Einfluss auf das Endergebnis.
Diese Werkstoffkette verbirgt weitere Fehlerquellen bei der Herstellung einer Arbeit. Da die Arbeitsschritte in dieser in vitro Studie weitestgehend standardisiert waren und auch die jeweiligen Arbeitsschritte von nur einer Person ausgeführt wurden, fallen viele sich negativ auswirkende Variablen der Arbeitskette weg.

Die Verwendung von Stümpfen aus Metall als Prüfkörper hat sich bewährt. Sie sind robuster und weniger anfällig auf äußere Einflüsse, wie zum Beispiel Flüssigkeiten oder mechanische Belastungen bei der Abformung bzw. Säuberung. In der Literatur sind die Herstellungsverfahren immer mit angegeben. Es ist wichtig zu wissen, ob die Prüfkörper aus einem Metallblock herausgefräst oder ob sie gegossen wurden. Ein Nachteil hat das Verfahren des Giessens: hierbei kann es passieren, dass sich die markanten Grenzbereiche etwas rund ziehen. Um diesen Nachteil zu kompensieren, sollte man die gegossenen Stümpfe im Metall anschließend nachpräparieren.

Die Durchführung einer Verdünnungsreihe für die Konzentration der Einbettmassenflüssigkeit war notwendig, um auch in diesem Bereich des Studienablaufes standardisierte Bedingungen zu erhalten. Die phosphatgebundene Einbettmasse zeichnet sich durch ihre steuerbare Abbindeexpansion aus. Vier Versuchsreihen wurden durchgeführt, um das Mischungsverhältnis mit der geringsten Abbindeexpansion festlegen zu können.

In den nächsten Jahren könnten laut *Ohnmacht* Einbettmassen auf dem zahntechnischen Markt entwickelt werden, deren Abbindeexpansion gegen Null läuft [49]. Das würde eine wesentliche Erleichterung beim Vergleich und bei der Durchführung wissenschaftlicher Arbeiten auf diesem Gebiet zur Folge haben.

Im Hinblick auf eine exaktere Darstellung der Unterschiede zwischen den Versuchsschleifkörpern der Firma *Komet* und anderen Schleifkörpern sollte man weitere Messverfahren in Erwägung ziehen, wie zum Beispiel das dreidimensionale Abtasten der abgeformten Stümpfe mit einem Scanner. Dadurch hätte man die Möglichkeit, Fehlerquellen, die beim Herstellen der Gusskronen entstehen, zu umgehen.

Bisher gibt es kein Material, das die Eigenschaften des Zahnschmelzes imitieren kann [54]. Die in diesem Laborversuch beschliffenen Prüfkörper zeigen grundlegend andere Eigenschaften als ein vitaler Zahn.

Schmelzaussprünge an der Präparationsgrenze, eingeschränkte Sichtverhältnisse bei der Präparation in der Mundhöhle, Probleme beim Abformen auf Grund von Feuchtigkeit oder para- bzw. subgingival gelegenen Präparationsgrenze fallen in dieser in vitro Studie weg. Die Ergebnisse dieses Laborversuches sind mit klinischen Untersuchungen, die allerdings nur sehr schlecht reproduzierbare Ausgangs-situationen liefern, kaum zu vergleichen [63].

Es verbieten sich aus ethischen Gründen prospektive Studien, die das Ziel verfolgen, die gerade noch tolerierbare Situation, bzw. die gerade nicht mehr tolerierbare Situation hinsichtlich des Randspaltes und der Lebenserwartung einer gegossenen Restauration zu untersuchen. Dadurch fehlt aber auch – nüchtern betrachtet- die

klinische Evidenz dafür, wie breit der Randspalt tatsächlich sein darf, um akzeptable Ergebnisse zu erzielen. Wegen der fehlenden klinischen Evidenz bzw. der nicht ausreichend vorhandenen Evidenz greift man hilfsweise auf Labordaten zurück, was in der Medizin und Zahnmedizin ein durchaus übliches und akzeptiertes Verfahren ist [83,84].

6.3 Diskussion der Ergebnisse zur Schleifkörperart

Ziel dieser Arbeit war es, festzustellen, wie sich Präparationen mit unterschiedlichen Schleifkörpern und Abformmaterialien auf die Passgenauigkeit von Kronen und somit deren Lebensdauer auswirken.

Hinsichtlich der Art der verwendeten Schleifkörper konnten nur tendenzielle Unterschiede aufgefunden werden.

Signifikante Unterschiede unabhängig von der Schleifkörperart fanden sich in der Art der Abformtechnik (Abb. 21).

Vorraussetzung für die Passgenauigkeit von Kronen ist eine klar definierte Präparationsgrenze [6]. Zur deutlichen Darstellung der Grenze diente in dieser Arbeit bei allen getesteten Schleifkörpern (wie auch bei *Sassen*) die Vergrößerung des Präparationswinkels zur Geraden. Dieser Winkel fiel bei den Schleifkörpern mit der 90° Stufe am größten aus, bei den zylindrischen Diamanten mit kegelförmigem Kopf nach *Marxkors* war er etwas kleiner.
Die Schleifkörper mit dem abgerundeten Winkel hatten keine erkennbare Grenze zwischen der Geraden und der Schrägen. Diese Grenzzone konnte demnach bei der visuellen Kontrolle der Abformungen schlechter erkannt werden, als bei den scharf definierten Winkeln. Es ist anzunehmen, dass dieser Faktor Einfluss auf die erhaltenen Werte hatte. Die Ergebnisse in Abb. 20 deuten darauf hin.

Gewisse Hinweise lassen aus den Ergebnissen entnehmen, dass Schleifkörperart und Abformart nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können.

Die Streuung der Werte von Stufe 1 und 2 ist bei der Einphasenabformung (Abb.15) geringer, als bei den Präparationsarten mit den abgerundeten Formen.
Die Schleifkörper mit der normalen *Marxkors*spitze und die mit der 90° abgewinkelten Spitze zeigen am Frontzahn mit der Einphasenabformtechnik signifikant bessere Ergebnisse, als die Präparationen mit den abgerundeten Innenwinkeln (Abb. 20). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch *Mitchell, Pintado* u*. Douglas* [65].

Demmel untersuchte die Fragestellung, durch welche Präparationsform sich die zementbedingte zervikale Diskrepanz auf ein Minimum reduzieren lässt. Er ist zu dem Schluss gekommen, dass bei einer Stufenpräparation marginal immer eine größere Zementschicht dem Mundmilieu ausgesetzt wird, als bei einer stufenlosen Präparation. Die zervikale Diskrepanz hängt bei gleicher Zementschichtdicke nur vom Konvergenzwinkel ab und ist diesem umgekehrt proportional [4].

Dass *Demme*l schlechtere Werte bei einer Präparationsform mit zirkulärer Stufe und gebrochener Kante feststellte, führte er auf die komplizierte Randgestaltung als wesentliches Abflusshindernis für den Zement zurück. Ob die abgerundeten Winkel der neu entwickelten Schleifkörper der Firma *Komet* eine bessere Abflussmöglichkeit für den Zement darstellen als bei einem scharfen Winkel, wäre durch nachfolgende Untersuchungen zu zeigen.

Dass der zervikale Bereich einer Stumpfpräparation von großer Bedeutung ist, zeigt auch die Arbeit von *Borchers*, *Filitz* und *Meyer*. Sie stellten eine höhere Abformgenauigkeit von Stümpfen mit Sulcus gegenüber solchen ohne Sulcus fest. Da diese größere Genauigkeit hauptsächlich im zervikalen Bereich erzielt wurde, machten sie veränderte Fließbedingungen in diesem Bereich während der Abdrucknahme dafür verantwortlich. In dieser Arbeit wurden Stümpfe mit Tangentialpräparation tendenziell genauer abgeformt als solche mit Hohlkehlpräparation [42].

Unter dem Eindruck dieser Arbeit und der von *Koniaris*, der Untersuchungen mit einem Sulcus-fluid-Modell durchführte, lassen sich komplexe Zusammenhänge zwischen Präparationsart, Abformart und der zervikalen Umgebung der Präparationsgrenze erkennen [60].

Grundsätzliche Erkenntnisse über auftretende Spannungen in den Werkstücken unterschiedlicher Präparationsformen lieferten die Untersuchungsergebnisse von *McLean* [76]. Aber auch die Arbeit von *Meiners* [41] über Ungenauigkeiten bei der Abformung kantiger Gegenstände lässt die Frage aufkommen, ob bei der Abformung und Modellherstellung von einem Stumpf mit scharfkantigem Innenwinkel an der Präparationsgrenze nicht eher Mängel an der Modellgenauigkeit auftreten als bei Präparationsarten mit abgerundetem Winkel, was in dieser Arbeit nur in einem Fall höchst signifikant ($p <= 0{,}001$, Tab. 4) nachgewiesen werden konnte.

Frühere Untersuchungen nach *Piemjai*, der drei verschiedene Präparationsmethoden, die der Hohlkehlpräparation, der Schulterpräparation von 90° und von 45°, miteinander verglich, zeigten allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen der Präparationsmethode und der marginalen Diskrepanz [64]. Hierbei sollte aber erwähnt werden, dass die Messung der Passgenauigkeit anhand der Höhenunterschiede vor und nach dem Zementieren erfolgte.

Um der Entstehung von Sekundärkaries am Kronenrand vorzubeugen, sollte eine einwandfreie Qualität der Präparationsgrenze erreicht werden. Untersuchungen im REM von *Gilde*, *Lenz* und *Richter* zeigten, dass die geringsten Schmelzprismenaussprengungen bei der abzulehnenden Tangentialpräparation auftraten. Gute Ergebnisse im Hinblick auf Schmelzaussprengungen wiesen auch die schräge Stufe und die Hohlkehlpräparation auf. Bei der rechtwinkligen Stufe konnten jedoch bis zu 200 µm breite Aussprengungen beobachtet werden [108].

Im Hinblick auf die Herstellung von Kronen mittels CAD/CAM –Systemen ist anzumerken, dass bei der räumlichen Digitalisierung des präparierten Stumpfes eine innere Kante mit einer runden Abtastnadel nicht übertragen werden kann [97].

Nach dem derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik resultieren nach *Kimmel* aus der Gesamtheit der Aspekte zwei Präparations- und Instrumenten–Grundformen: bei Metall- u. Keramik-Verblendkronen die Hohlkehle und bei Keramik- u. Metallkeramikkronen die abgerundete Stufe [107]. Die Firma Komet ist mit der in dieser Arbeit getesteten Versuchsschleifkörper einen weiteren Schritt hin zu den abgerundeten Präparationsformen gegangen.

6.4 Diskussion der Ergebnisse zur Abformtechnik

Die Doppelmischabformtechnik erzielt in der Literatur gegenüber der Korrekturabformung in Bezug auf die Genauigkeit bessere Resultate [55,56,61]. Das konnte auch in dieser Untersuchung bestätigt werden.

Sowohl die gemessenen Werte der marginalen Diskrepanz als auch die Breite der Streuung fallen bei der Doppelmischabformung kleiner als bei der Korrekturabformung aus (Abb.16, 18, 19). Einige Gründe hierfür sind im Verdrängungseffekt, den die Korrekturmasse bei der Zweitabformung auf das Erstmaterial ausübt, in der elastischen Deformation des Erstmaterials und in der Entstehung endogener Spannungen zu sehen [62].

Es konnten zwischen den vier verschiedenen Präparationsmethoden mit der Doppelmischabformtechnik keine signifikanten Unterschiede bezüglich der zervikalen Diskrepanzen festgestellt werde. Dies ist möglicherweise auf die relativ geringe Fallzahl zurückzuführen. Bei einem größeren Stichprobenumfang wären vielleicht auch die Unterschiede mit dieser Abformtechnik signifikant.

Die von *Dreyer-Jörgensen* geforderte Randschlussgenauigkeit von bis zu 50 µm konnte nicht durchgehend realisiert werden [10] . Der Mittelwert der Randspalten bei der Korrekturabformung betrug 41 µm, die der Einphasenabformung 31 µm und der Mittelwert bei der Doppelmischabformung lag bei 33 µm . Nur 1,5 % der Fälle lag oberhalb 100 µm.

Die maschinelle Mischung und Dosierung gewährleistete eine homogene Durchmischung der verschiedenen Materialkomponenten und eine gleichbleibende Konsistenz, was den Versuch, standardisierte Rahmenbedingungen zu schaffen, gut unterstützte.

Durch vergleichende Untersuchungen von hand- und maschinengemischten Abformmassen zeigten die maschinengemischten Materialen in Bezug auf die Abformgenauigkeit bessere Ergebnisse [48,60].

Gelbard et al. kamen in ihren früheren Untersuchungen über verschiedene Abformmaterialien und Abformtechniken zu dem Schluss, dass die Bestimmung des Kronenrandschlusses nicht nur eine technische Aufgabe, sondern vielmehr eine planerische Herausforderung darstellt [66]. Sie bestimmten die marginale Diskrepanz auf verschiedene Arten. Nach einem Längsschnitt durch den präparierten Zahn mit zementierter Krone wurde die marginale Diskrepanz erst bei einem Abstand von 100 µm zum Rand der beschliffenen Fläche gemessen. *Gelbard* begründete diese Vorgehensweise mit oft zu kurzen oder zu langen Kronenrändern, die bei dieser Messmethode die Ergebnisse nicht verfälschen würden.

6.5 Diskussion der Ergebnisse zur Zahngeometrie

Bei der Betrachtung der Schleifkörper mit der 90° Stufe und dem abgerundeten Winkel kann man erkennen, dass offenbar besonders im Falle der Impregumabformung die Form der Stümpfe einen Einfluss auf die Messwerte hat (Abb. 19).

Eventuell mag hierbei die Form der approximalen Bereiche zwischen den Stahlstümpfen und den Nachbarzähnen des Modells oder aber auch der unterschiedliche Querschnitt der Prüfkörper eine Rolle gespielt haben [41]. Es überwiegt bei dieser Schleifkörperart der Einfluss der Stumpfform gegenüber dem Einfluss der Abformtechnik.

Innerhalb der Abformtechnik zeigen die Ergebnisse der Molarenstümpfe sowohl eine kleinere Streuung als auch kleinere Mittelwerte im Vergleich zu den Ergebnissen der Frontzahnstümpfe.

In einer Arbeit von *Lenz, Patyk* und *Kobes* wurde das Randschlussverhalten in Abhängigkeit von der Form des Stumpfes bei vier verschiedenen geometrischen Formen in drei vollkeramischen Systemen analysiert. Ein Aspekt der Interpretation der Ergebnisse war die Komplexität der geometrischen Form. Der vertikale Randschluss schien bei einer komplexeren Form besser zu werden [106]. Ob das auch auf die Anwendung von Gusskronen oder nur auf die Keramikverarbeitung zutrifft, wäre zu prüfen.

7 Zusammenfassung

Die Wahl des Schleifkörpers zur Erzielung der bestmöglichen Passgenauigkeit der Kronen hängt nach Auswertung der Messergebnisse sowohl von der Wahl des Abformmaterials als auch von der Form des zu beschleifenden Zahnes ab.

Die Untersuchung der vier verschiedenen Schleifkörper hat gezeigt, dass eine signifikante Unterscheidung der einzelnen Präparationsarten aufgrund der Passgenauigkeit der hergestellten Kronen nur im Zusammenhang mit der Abformart möglich war.

Die Anzahl der kleinsten gemessenen Randspalten verteilte sich gleichmäßig auf die vier verschiedenen Schleifkörper, so dass es nicht möglich war, eine Zuordnung zwischen einer bestimmten Form und den besten Ergebnissen herzustellen (Tab.5).

Trotzdem sollte man die Wahl des Schleifkörpers stets differenziert betrachten. Die Auswahl des Diamanten hängt sowohl von der Form des zu beschleifenden Zahnes, als auch von der Wahl der Abformmethode ab.
Die 90° + abgerundete Schleifkörperspitze eignet sich z.B. hervorragend bei der Einphasenabformung eines Molaren.
Wenn man jedoch die Einphasenabformtechnik wählt, um einen Frontzahn abzuformen, sollte man anhand der signifikanten Unterschiede und Messergebnisse eher zu der Standardmarxkorsspitze oder zu dem Schleifkörper mit der 90° Stufe greifen, als zu den abgerundeten Formen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass es durch die Auswahl des Schleifkörpers, einer technischen Anforderung bei der Gestaltung der Präparationsgrenze, möglich ist, Randspalten zwischen Zahn und Krone zu verkleinern und dadurch Einfluss auf die biologischen Anforderungen bei der Gestaltung der Präparationsgrenze, wie z. B. Vermeidung parodontaler Irritationen, auszuüben.

7 Abstract

After evaluation of the results, the choice of the diamond bur for achieving the optimum accuracy of the metal casting depends on both the impression technique and on the shape of the prepared tooth.

The investigation of the four different diamond burs showed a signigicant distinction of the different kinds of preparation that was only possible in connection with the kind of casting due to the accuracy of the manufactured crowns.

The number of smallest measured marginal gaps is distributed evenly on the four different diamond burs, so that it was not possible to determine an allocation between a certain shape and the best results (Tab. 4).

Nevertheless one should ragard the choice of the diamond burs as always differentiated. The selection of the diamond burs depends both on the form of the prepared tooth and on the choice of the impression technique. The 90° rounded tip is the most suitable for the monophase impression technique of a molar.

However, if one selects the monophase technique in order to cast a front tooth, based on the significant differences and the results of the measurements, one should rather use the standard Marxkors-tip or the tips with the 90° bevel instead of using the rounded tips.

The results of this study show that it is possible with the selection of the burs, a technical requirement of the design of the finish line, to minimize the marginal discrepancy between the tooth and the metal restauration. Thus one is having an influence on the biological requirements of the design of the finish line; e. g. the avoidance of the irritation of the marginal periodontium.

8 Literaturverzeichnis

[1] Albert, H. M.
Spaltbreiten und Tiefen bei Amalgam- und Gussfüllungen
Dtsch Zahnärztl Z 26, 672 (1971)

[2] Bader, F., Setz, J.
Benetzbarkeit und Wiedergabegenauigkeit von Abformmassen
Dtsch Zahnärztl Z 46, 346-348 (1991)

[3] Borchers, L., Filitz, J., Meyer, W.
Der Einfluss der Stumpfform und einiger Elastizitätskonstanten von Silikonmassen auf die Abformgenauigkeit
Dtsch Zahnärztl Z 39, 764-769 (1984)

[4] Demmel, H.-J.
Der Einfluss verschiedener Zementsorten auf den Randschluss passgenauer Kronen
Dtsch Zahnärztl Z 26, 700-705 (1971)

[5] Diedrich, P., Erpenstein, H.
Rasterelektronenmikroskopische Randspaltanalyse von in vivo eingegliederten Stufenkronen und Inlays
Schweiz Mschr Zahnheilk 95, 575 (1985)

[6] Dreyer-Jörgensen, K.
Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gussverfahren
Dtsch Zahnärztl Z 13, Heft 8 (1958)

[7] Dumfahrt, H., Schäffer, H.
Zum Dimensionsverhalten bei verschiedenen Abformverfahren mit gummielastischen Massen in der Inlay-, Kronen-, Brückentechnik
Z Stomatol 84, 231-239 (1987)

[8] Düsterhus, T.
Untersuchungen über den zervikalen Randschluss von Gusskronen an extrahierten überkronten Zähnen
Med. Diss., Münster (1980)

[9] Einfeldt, H.
Passgenauigkeit gegossener Metallarbeiten
Dtsch Zahnärztl Z 24, Heft 12 (1969)

[10] El-Ebrashi, M. K., Craig, R. G. Peyton, F. A.
Experimental stress analysis of dental restorations. The concept of the geometry of proximal margins
J Prosthet Dent 22, 333 (1969)

[11] Farah, J. W., Craig, R. G.
Stress analysis of three margin configurations of full posterior crowns by three-dimensional photoelasticity
J Dent Res 53, 1219 (1974)

[12] Gall, H.
Allergische Reaktionen auf zahnärztliche Werkstoffe
Dtsch Zahnärztl Z 38, 735-741 (1983)

[13] Gelbard, S., Aoskar, Y., Zalkind, M., Stern, N.
Effect of impression materials and techniques on the marginal fit of metal castings
J Prosthet Dent 71, 1,1-6 (1994)

[14] Geurtsen,W.
Der Kronen- und Füllungsrand
Dtsch Zahnärztl Z 45, 380-386 (1990)

[15] Gilde, H., Lenz, P., Richter, U.
Experimentelle und statistische Untersuchungen zur Präparationsmethodik
Dtsch Zahnärztl Z 39, 798-800 (1984)

[16] Gottwald, W.
Statistik für Anfänger
Weinheim: Wiley-VCH, 2000

[17] Haas, M., Wegschneider, W. A., Bratschko, R. O.
Der Randspalt von metall- und nichtmetallgetragenen Keramikkronen im Vergleich
„Die Quintessenz“, Heft 4, Referat Nr. 7072 (1988)

[18] Hellwig, E., Kimmel, K., Lehmann, K.
Stellungnahme der DGZMK
Präparationstechnik als Grundlage der Qualitätssicherung
Zahnärztl Mitt 89, Nr. 5, 528 (1999)

[19] Hofmann, M.
Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanz unter Verwendung der Turbine
Dtsch Zahnärztl Z 16, 584 (1961)

[20] Holmes, J. R.
Considerations in measurement of marginal fit
J Prosthet Dent 62, 405-408 (1989)

[21] Jung, T., Quast, U.
Das Gussgefüge am Kronenrand
Dtsch Zahnärztl Z 26, 785-792 (1971)

[22] Kästner, K.
Entwicklung und experimentelle Erprobung eines zahnärztlichen Schleifers mit Führungsdorn für standardisierte Zahnpräparation
Med. Diss., Dresden (1998)

[23] Käyser, A. F., Plasmans, P. J.
Kronen- und Brückenprothetik
Dtsch Ärzte-Verlag, Köln (1985)

[24] Kettler, W., Mayer, A.
Kritische Betrachtung zur rationellen Kavitätenpräparation
Dtsch Zahnärztebl 85, 16 (1976)

[25] Kimmel, K.
Rotierende Instrumente für Klinik, Praxis und Labor
Düsseldorf: Meisinger (1977)

[26] Kimmel, K., Wagner, B., Dombrowsky, K.-J.
Die zahnärztliche Praxis, Planen, Gestalten, Steuern
Dtsch Ärzte-Verlag, Köln (1978)

[27] Kimmel, K.
Instrumentenkombinationen für die Kronenstumpfpräparation
Zahnärztl Welt 89, 54-62 (1980)

[28] Kimmel, K.
Arbeitssystematik, Normung, Qualitätssicherung
Zahnärztl Welt 89, 10-17 (1980)

[29] Kimmel, K.
Die zahnärztliche Präparationstechnik
Grundlagen – Situationsanalyse – Arbeitskonzept
Dtsch Zahnärztl Z 36, 619-634 (1981)

[30] Kimmel, K., Büchs, H., Eibofner, E.
Zahnärztliche Präparationstechnik
Hüthig Verlag, Heidelberg (1986)

[31] Kimmel, K.
Kavitäten- und Kronenpräparationen mit rotierenden und oszillierenden Instrumenten
Dental Echo Verlag 1997

[32] Kimmel, K.
Optimale Instrumentensätze sichern die Struktur-, Prozess- und Ergebnisqualität
Zahnärztl Welt 111, Nr. 6 (2002)

[33] Klooster, J., Logan, G. I., Tjan, A. H. L.
Effects of strain rate on behavior of elastomeric impression
J Prosthet Dent 66, 292-298 (1991)

[34] Kollmannsperger, P., Sauer, G.
Vergleichende Untersuchungen über die Abbindeexpansion von Einbettmassen
Dtsch Zahnärztl Z 38, 227-229 (1983)

[35] Koniaris, A.
Vergleich von derzeit gebräuchlichen Abformmaterialien und –techniken mit Hilfe eines Sulkus – Fluid – Modells
Med. Diss., Gießen (1999)

[36] Körber, E., Lehmann, K.
Vergleichende Untersuchungen bei Abdruckmaterialien für Kronen und Brücken
Dtsch Zahnärztl Z 24, 791-796 (1969)

[37] Körber, K.
Konuskronen – Das rationelle Teleskopsystem – Einführung in Klinik und Technik
Hüthig Verlag, Heidelberg (1983)

[38] Körber, K.
Zahnärztliche Prothetik
Thieme Verlag (1985)

[39] Kraft, E.
Die Gestaltung des Kronenrandes
Dtsch Zahnärztl Z 24, 750-756 (1969)

[40] Kröncke, A., Petschelt, A.
Parodontologische Aspekte bei restaurativen Maßnahmen
Dtsch Zahnärztl Z 41, 899 (1986)

[41] Kronen und Brücken
in: Zahn- Mund- und Kieferheilkunde Schwenzer N (Hrsg), Bd.3
Thieme Verlag, Stuttgart (1982)

[42] Langeland, K., Langeland, K. L.
Pulp reactions to crown preparations, impression, temporary crown fixation and permanent cementation
J Prosthet Dent 15, 129 (1965)

[43] Lehmann, K. M., Burgdorf, H. O.
Untersuchungen zu zweitzeitigen Abformverfahren für Kronen- und Brücken (Korrekturabdruck)
Zahnärztl Welt 87, 430-433 (1978)

[44] Lehmann, K. M.
Methode und Systematik der Abformung für festsitzenden Zahnersatz
Zahnärztl Mitt 70, 486-491 (1980)

[45] Lehmann, K. M., Zacke, W.
Untersuchungen zur okklusalen Schichtdicke des Korrekturmaterials bei der Korrekturabformung
Dtsch Zahnärztl Z 38, 220-222 (1983)

[46] Lehmann, K. M., Krauth, G.
Der Randschluss von Gusskronen – hergestellt im propädeutischen Unterricht
Dtsch Zahnärztl Z 39, 750-752 (1984)

[47] Lehmann, K. M., Zettel, R., Gente, M.
Die Passgenauigkeit von Gusskörpern in Abhängigkeit von Abformung und Modell sowie gusstechnischen Parametern
Dtsch Zahnärztl Z 43, 473-476 (1988)

[48] Lehmann, K. M.
Einführung in die Zahnersatzkunde
Urban & Schwarzenberg, München – Wien (1988)

[49] Lehmann, K. M., Lindemann, J.
Die Wiedergabe des Pfeilerabstandes bei der Abformung für festsitzenden Zahnersatz
Dtsch Zahnärztl Z 35, 537-539 (1989)

[50] Lehner, C.R., Schäfer, P.
Abformmaterialien in der Kronen – Brücken - Prothetik
Schweiz Monatsschr Zahnmed 101, 5 (1991)

[51] Lenz, M., Patyk, A. J., Kobes, L. W. R.
Randschlussverhalten von vollkeramischen Kronen in Abhängigkeit von der geometrischen Form des Stumpfes
Dtsch Zahnärztebl 109. Jahrg., 4 (2000)

[52] Leon, A. R.
The periodontium and restaurative procedures – a critical review
J Oral Rehabil 4, 105 (1977)

[53] Lustig, P.
Ein rationelles System der Kronenpräparation
Quintessenz 27, Ref. III/ 5500 (1976)

[54] Marxkors, R., Meiners, H., Mende, Th.
Einfluss von Temperatur und Dosierung auf die Vernetzungsgeschwindigkeit elastomerer Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 29, 810-814 (1974)

[55] Marxkors, R.
Der Randschluss der Gusskronen
Dtsch Zahnärztl Z 35, 913-915 (1980)

[56] Marxkors, R.
Abformfehler und deren Vermeidung
Dtsch Zahnärztebl 94. Jahrg., 6 (1985)

[57] Marxkors, R.
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde
Hanser , München – Wien (1988), 3. Auflage

[58] Marxkors, R.
Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik
Hanser, München – Wien (1993)

[59] McLean, J. W.
Wissenschaft und Kunst der Dentalkeramik
Quintessenz, Berlin (1979)

[60] Meiners, H.
Zur Strömungssituation beim Korrekturabdruck
Dtsch Zahnärztl Z 31, 685-687 (1976)

[61] Meiners, H.
Abformgenauigkeit mit elastomeren Abformmaterialien. Theoretische und experimentelle Untersuchungen
Hanser, München – Wien (1977)

[62] Meiners, H.
Eigenschaft und Genauigkeit von elastomeren Abformmaterialien (Polysulfide, Silikone, Polyether)
Dtsch Zahnärztebl 87, 426-430 (1978)

[63] Meiners, H., Marxkors, R., Wronska-Golda, M.
Ungenauigkeiten bei der Abformung kantiger Gegenstände
Dtsch Zahnärztl Z 35, 917-919 (1980)

[64] Meiners, H.
Prophylaxe und Werkstoffkunde
Zahnärztl Welt 94, 792 (1985)

[65] Meiners, H.
Das Problem der Passgenauigkeit
Dent Labor 34, 1939 (1986)

[66] Mitchell, C. A., Pintado, M. R., Douglas, W. H.
Non destructive in vitro quantification of crown margins
J Prosthet Dent 85, 6, 575-584 (2001)

[67] Neissen, L. C., Strassler, H., Levinson, P. D., Wood, G., Greenbaum, J.
Effect of latex gloves on setting time of polyvinylsiloxane putty impression material
J Prosthet Dent 55, 128-129 (1986)

[68] Ohnmacht, P., Schmitt, U., Zimmermann-Chopin, R.
Werkstoffkundeatlas: Posphatgebundene Einbettmassen
Quintessenz Zahntech 26, 4, 361-373 (2000)

[69] Pfeiffer, P.
Werkstoffkundliche Erkenntnisse über elastomere Abformmaterialien und ihre Bedeutung für die routinemäßige Abformung – Ein Übersichtsreferat (I)
Zahnärztl Welt 97, 224-234 (1988)

[70] Piemjai, M.
Effect of seating force, margin design and cement on marginal seal and retetention of complete metal crowns
Int J Prosthodont 14, 5, 412-416 (2001)

[71] Rehberg, H. J.
Der Kronenrand. Exakter Randschluss - Was ist das?
Dtsch Zahnärztl Z 26, 696-699 (1971)

[72] Rehberg, H. J.
Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel
Quintessenz, Berlin (1978)

[73] Reitz, A. D., Clark, N. P.
The setting of vinyl polysiloxane and condensation silikone putties when mixed with gloved hands
J Am Dent Assoc 116, 371-375 (1988)

[74] Sassen, H.
Passgenauigkeit von Kronen bei definierter Präparationsgrenze
Dtsch Zahnärztl Z 33, 726-732 (1978)

[75] Schmalz, G., Federlin, M.
Der Randspalt als Klebefuge: Wie groß darf er sein?
Dental Magazin 3, 104-109 (2002)

[76] Schmeißner, H.
Die Quintessenz der Einzelkrone
Quintessenz Pockets, Homburg/Saar (1972)

[77] Schulz, H.–H., Schwickerath, H.
Die Abformung in der Zahnheilkunde
Dtsch Ärzte–Verlag, Köln (1989)

[78] Schwickerath, H.
Zur Form- und Wiedergabegenauigkeit von elastomeren Abformmaterialien
Dtsch Zahnärztl Z 27, 616-619 (1972)

[79] Schwindling, R.
Das Messen von Dimensionsänderungen an elastomeren Abformwerkstoffen
Dtsch Zahnärztl Z 25, 710-716 (1970)

[80] Schwindling, R.
Rationelle Maßnahmen beim Doppelabdruckverfahren
Zahnärztl Welt 80, 911-913 (1971)

[81] Seymor, K., Zou, L., Samarawickrama, D. Y., Lynch, E.
Assesment of shoulder dimensions and angles of procelain bonded to metal crown preparation
Prosthet Dent 75, 406-411 (1996)

[82] Shillingburg, H. T., Hobo, S., Fisher, D. W.
Atlas der Kronenpräparation
Quintessenz, Berlin (1974)

[83] Shillingburg, H. T., Hobo, S., Whitsett, L. D.
Grundlagen der Kronen- und Brückenprothetik
Quintessenz, Berlin (1977)

[84] Siegel, S., Fraunhofer, A.
Assessing the cutting effiziency of dental diamond burs
J Am Dent Assoc 127, 763-772 (1996)

[85] Smith, Bernard, G. N.
Zahnärztliche Therapie mit Kronen und Brücken
Dtsch Ärzte-Verlag, Köln (1987)

[86] Spiekermann, H.
Zur marginalen Passform von Kronen und Brücken
Dtsch Zahnärztl Z 41, 1015-1019 (1986)

[87] Stahl, E.
Präzise Abdrücke nach dem Doppelabdruckverfahren speziell für stufenlose Präparationen und Herstellung exakter Modelle für indirekte Kronen-, Brücken- und Inlayarbeiten
Zahnärztl Welt 10, 46-52 (1956)

[88] Strupwosky, M.
Das President–DCS–System – Numerisch gesteuerte Zahntechnik
Dent Labor 42, 1809-1815 (1994)

[89] Viohl, J.
Abformwerkstoffe
In: Eichner,K. (Hrsg) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung
Hüthig, Heidelberg (1981)

[90] Walther, W., Micheelis, W.
Evidence–Based Dentistry
Institut der deutschen Zahnärzte
Deutscher Zahnärzte Verlag, Hanser, Köln München, Band 23 (2000)

[91] Walton, J. N., Gardner, M., Agar, J. R.
A survey of crown and fixed partial denture failures: Length of service and reasons for replacement
J Prosthet Dent 56, 4 (1986)

[92] Wichman, M., Borchers, L.
Bestimmung der Abformgenauigkeit verschiedener Elastomere
Dtsch Zahnärztl Z 47, 88-91 (1992) 2

[93] Wirz, J., Schmidly, F.
Moderne Elastomere – Wichtige physikalische Eigenschaften
Teil I und II
Quintessenz 40, 959-967 & 1151-1156 (1989)

[94] Wöstmann, B., Dohle, A., Rettberg, S.
Zur Frage der in vivo erreichbaren Abformgenauigkeit
Dtsch Zahnärztl Z 49, 679-682 (1994)

[95] Wöstmann, B.
Zum derzeitigen Stand der Abformung in der Zahnheilkunde
Habilitationsschrift, Münster (1998)

[96] Wöstmann, B., Höing, M., Ferger, P.
Vergleich von hand- und maschinengemischten Abformmassen (Pentamix-System)
Dtsch Zahnärztl Z 53, 753-756 (1998)

[97] Zach, L., Cohen, G.
Pulp response to externally applied heat
Oral Surg 19, 515 (1965)

Erklärung:

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Danksagung

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

Für das Bereitstellen der erforderlichen Geräte und Räumlichkeiten in der Abteilung Zahnärztliche Prothetik sei Herrn Prof. Dr. P. Ferger gedankt.

Herrn Preiss und Herrn Becker sei für die Hilfe bei der Herstellung der Schleifapparatur gedankt.

Des Weiteren möchte ich mich sehr bei meinen lieben Eltern für ihre immer großzügige Hilfe bedanken.

Herrn Johannes Perk möchte ich herzlichst für seine unschätzbare geduldige Unterstützung danken.

Abschließend möchte ich mich bei Herrn Sven Stieglitz bedanken, der mir bei Computerproblemen mit Rat und Tat zur Seite stand.

Lebenslauf

Persönliche Information

- Name: Mercedes Pieper
- Familienstand: ledig
- Staatsangehörigkeit: deutsch
- Geburtstag: 06.06.1972
- Geburtsort: Gießen

Beruflicher Werdegang

- 1997-1998 Ausbildungsassistenz in Bad Hersfeld
- 1998-1999 Ausbildungsassistenz in Rodheim - Bieber
- 01.01.2000 Kassenzulassung im Landkreis Gießen
- 2001-2003 kieferorthopädische Weiterbildungsassistenz in Seligenstadt
- ab 01.11.03 Weiterbildungsassistenz an der Eberhard–Karls-Universität Tübingen

Hochschulbildung

- 1991-1996 Zahnmedizinstudium an der Justus-Liebig-Universität in Gießen
- 11.08.1992 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
- 22.03.1994 Zahnärztliche Vorprüfung
- 16.12.1996 Zahnärztliche Prüfung

Schulischer Werdegang

- 1978-1982 Grundschule Langgöns
- 1982-1991 Weidiggymnasium Butzbach
- 12.06.1991 Abitur