

**Effektivität unterschiedlicher Poliersysteme für Hybridkomposite  
unter praxisähnlichen Bedingungen**

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

vorgelegt von Astrid Baumstieger  
aus Bad Homburg v.d.H.

Gießen 2005

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Abteilung Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde  
Leiter: Prof. Dr. J. Klimek  
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: PD Dr. Martin Jung  
Gutachter: PD Dr. Joachim Alzen

Tag der Disputation: 17. Mai 2005

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>3</b>
2.1	Entwicklung der Komposite	3
2.2	Aufbau und Klassifizierung der Komposite	4
2.3	Ausarbeitung und Politur	7
2.4	Methoden zur Ausarbeitung und Politur	8
2.4.1	Allgemeine Bemerkungen	8
2.4.2	Ausarbeitung und Politur von Glattflächen	8
2.4.3	Strukturierte Oberflächen	9
2.5	Evaluierung von Oberflächen	14
<b>3</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>16</b>
3.1	Auswahl und Vorbereitung der Zähne	16
3.2	Kavitätenpräparation	17
3.3	Verwendetes Komposit	18
3.4	Füllen der Kavitäten	18
3.5	Ausarbeiten und Polieren der Füllungen	19
3.5.1	Bearbeitungsmethoden	19
3.5.2	Verwendete Schleif- und Polierkörper	20
3.6	Profilometrische Untersuchung	29
3.6.1	Perthometer S8P	29
3.6.2	Messbedingungen	30
3.6.3	Durchführung der Messungen	31
3.6.4	Ermittelte Messgrößen	32

<b>3.7</b>	<b>Datenerfassung und -auswertung</b>	<b>32</b>
3.7.1	Erfassung der Messergebnisse	32
3.7.2	Deskriptive Auswertung	33
3.7.3	Prüfstatistische Auswertung	33
<b>3.8</b>	<b>Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung</b>	<b>33</b>
3.8.1	Vorbereitung der Zähne	33
3.8.2	Rasterelektronenmikroskop PSEM 500	34
3.8.3	Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen	34
3.8.4	Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen	35
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Ergebnisse der profilometrischen Untersuchung</b>	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung</b>	<b>42</b>
4.2.1	Politur mit Sof-Lex-Disks	42
4.2.2	Politur mit Diafix-oral-Polierern	45
4.2.3	Politur mit Composite-Polierern	48
4.2.4	Politur mit einer Occlubrush-Polierbürste	51
4.2.5	Vergleich der vier Bearbeitungsmethoden	54
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion der angewandten Methoden zur Oberflächenevaluierung</b>	<b>58</b>
5.1.1	Profilometrische Untersuchungen	59
5.1.2	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung	61
<b>5.2</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>62</b>
5.2.1	Profilometrische Ergebnisse	62
5.2.2	Rasterelektronenmikroskopische Ergebnisse	66
5.2.3	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der beiden Evaluierungsverfahren	68
<b>5.3</b>	<b>Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren</b>	<b>70</b>
<b>5.4</b>	<b>Klinische Aspekte und Praxisrelevanz der Ergebnisse</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>77</b>

<b>7</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	<b>101</b>
9.1	Tabellarische Darstellung der profilometrischen Untersuchung	101
9.2	Prüfstatistische Auswertung der Ergebnisse der profilometrischen Untersuchung	104
9.3	Tabellarische Darstellung der rasterelektronenmikroskopischen Auswertung	104
<b>10</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>108</b>
<b>11</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>109</b>

## 1 Einleitung und Problemstellung

Seit Anfang der neunziger Jahre wird der über Jahrzehnte hinweg verwendete plastische Füllungswerkstoff Amalgam zunehmend auch im Seitenzahnbereich durch zahnfarbene Füllungskunststoffe, so genannte Komposite, verdrängt [3, 10, 16, 26, 30, 56, 62, 78, 90, 95, 105].

Die rotierende Bearbeitung einer frisch gelegten Kompositfüllung im Seitenzahnbereich gliedert sich in Ausarbeitung und Politur der Füllung. Unter Ausarbeitung versteht man die Überschussbeseitigung, das Konturieren und das Finieren der Füllung. Diese Bearbeitungsschritte sind notwendig, da Kompositfüllungen einerseits immer im Überschuss gelegt werden, weil es klinisch nahezu unmöglich ist, eine Restauration überschussfrei zu adaptieren. Zudem entsteht beim Aushärten der Komposite eine füllstoffarme Oberflächenschicht, die wegen ihrer geringen Abrasionsresistenz zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit abgetragen werden muss [25, 31]. Andererseits ist es fast immer notwendig, die Füllung im Okklusalbereich zu adjustieren, wobei in der Regel eine raue Füllungsoberfläche zurückbleibt. Diese erweist sich in vielerlei Hinsicht als ungünstig. So ist die Plaqueanlagerung an rauen Oberflächen wesentlich höher als an glatten Oberflächen [9, 54, 55, 75, 117], was in der Nachbarschaft der rauen Füllungsoberfläche auch die Bildung einer sekundären Randkaries erleichtert. Ebenso führen raue Oberflächen bei Füllungen im Bereich der marginalen Gingiva zu Gingivareizungen und Entzündungen [15, 77]. Ziel der Ausarbeitung von Kompositfüllungen sollte es also sein, Überschüsse zu entfernen, die Morphologie des Zahnes wiederherzustellen, die Füllung okklusal zu adjustieren und die aufgerauten Oberflächen vorbereitend zu glätten. Für das rotierende Ausarbeiten von Kompositfüllungen im Seitenzahnbereich werden am häufigsten zwei unterschiedliche Bearbeitungsinstrumente verwendet: zum einen diamantierte Finierer, die in unterschiedlichen Korngrößen verfügbar sind, und zum anderen Hartmetallfinierer, die in der Anzahl und Form der Schneiden variieren können [58, 85].

Die anschließende Politur sollte die verbliebenen Rauigkeiten einebnen und für eine glatte und glänzende Oberfläche sorgen, da eine glatt polierte Füllung ästhetisch wesentlich ansprechender wirkt und eine deutlich geringere Verfärbungstendenz aufweist [75]. Für die Politur von Kompositfüllungen sind die verschiedensten rotierenden Bearbeitungsinstrumente erhältlich. Sie unterscheiden sich nicht nur in Größe, Form und Abrasivität, sondern basieren z.T. auf völlig unterschiedlichen Funktionsprinzipien. So findet man Polierkörper, die in Silikon bzw. Gummi oder Filz gebunden sind, Aluminiumoxidscheiben in unterschiedlichen Körnungen sowie Polierbürsten und Polierpasten [45].

Für konvexe Flächen haben sich flexible Disks aufgrund ihres guten Glättungseffekts als klinischer Standard etabliert, während sie jedoch zur Ausarbeitung und Politur von konkaven und strukturierten Oberflächen, wie z.B. Kauflächen, nicht geeignet sind [13, 24, 53, 61, 70, 98, 100].

Die Effektivität rotierender Ausarbeitungs- und Polierinstrumente auf Kompositoberflächen ist in der Vergangenheit schon häufig Gegenstand verschiedener In-vitro-Studien gewesen, wobei jedoch in erster Linie plane Prüfkörper zur Anwendung kamen [4, 6, 8, 17, 22, 29, 34, 35, 38, 39, 40, 43, 46, 47, 48, 49, 66, 68, 69, 71, 73, 74, 79, 80, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 93, 97, 98, 101, 102, 113]. Die Wirkung der Bearbeitungsmethoden an extrahierten natürlichen Zähnen unter praxisähnlichen Bedingungen wurde dagegen bislang kaum untersucht [6, 23, 59, 72, 92]. Noch seltener sind aufgrund des methodischen Aufwands der hierbei erforderlichen Replika-Technik klinische Studien zu dieser Fragestellung [44, 50].

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mit Hilfe profilometrischer und rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen die Eignung von vier unterschiedlichen Ausarbeitungs- und Polierverfahren auf strukturierten Kompositoberflächen gefüllter Molaren unter praxisähnlichen Bedingungen zu evaluieren.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Entwicklung der Komposite

An Füllungswerkstoffe für den okklusionstragenden Seitenzahnbereich sind besondere Anforderungen zu stellen, wobei neben einer hohen Abrasionsresistenz und Druckfestigkeit auch eine möglichst geringe Randspaltbildung von Bedeutung ist [5, 18, 37, 63, 64, 83, 107, 114, 115, 116]. Aus diesem Grund stand bei der Weiterentwicklung der Komposite in den letzten Jahren die Verbesserung der werkstoffkundlichen Eigenschaften im Vordergrund, um dem Wunsch vieler Patienten nach zahnfarbenen Füllungen Rechnung tragen zu können.

Die Füllungskunststoffe leiten sich im Wesentlichen von modifizierten Methylmethacrylaten ab. Die Acrylatfüllkunststoffe der ersten Generation, die in den fünfziger Jahren auf den Markt kamen, hatten ein mangelhaftes Abrasionsverhalten, eine starke Verfärbungstendenz und vor allem eine enorme Polymerisationsschrumpfung, womit ein nicht akzeptabler Randschluss einherging.

Die Entwicklung eines neuen primären Kunststoffanteils, des so genannten BIS-GMA (=Bisphenol-A-Glycidyl-Dimethacrylat), durch Bowen im Jahr 1962 stellte schließlich einen großen Fortschritt auf diesem Gebiet dar. Zusätzlich verstärkte Bowen den primären Kunststoffanteil mit anorganischen Füllstoffen (Quarzmehl).

Die so entstandenen Kunststoffe, die heute als konventionelle oder makrogefüllte Komposite bezeichnet wurden, hatten wesentlich bessere werkstoffkundliche Eigenschaften als alle bis dahin bekannten zahnfarbenen Füllungs-

werkstoffe. Sie waren daher in den sechziger und siebziger Jahren das zahnfarbene Füllungsmaterial der Wahl.

Die nächste Entwicklungsstufe stellten die so genannten mikrogefüllten Komposite dar, die ab Mitte der siebziger Jahre zur Verfügung standen. Bei diesen Kunststoffen wurden wesentlich kleinere Füllkörper verwendet, jedoch veranlassten die Polymerisationsschrumpfung sowie das ungenügende Abrasionsverhalten zu weiteren Forschungen auf dem Gebiet der Kompositfüllstoffe. Insbesondere eine Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit konnte durch die Verbindung von Makro- und Mikrofüllern innerhalb eines Komposits erzielt werden. Diese sog. Hybridkomposite sind heute am weitesten verbreitet und bislang als einzige Kompositvariante für den Einsatz im okklusionstragenden Seitenzahngebiet geeignet [16, 28, 65].

## 2.2 Aufbau und Klassifizierung der Komposite

Ein modernes Komposit setzt sich aus organischer Matrix, Verbundphase und anorganischen Füllkörpern zusammen [67].

Die *organische Matrix* besteht aus Monomeren, Initiatoren, Stabilisatoren und Pigmenten, wobei als organische Monomermatrix BIS-GMA (Bisphenol-A-Glycidyl-Dimethacrylat), Urethan-Dimethacrylat und Triethylenglycol-Dimethacrylat verwendet werden. Das Monomer bestimmt die Viskosität des Komposits und ist verantwortlich für die bei der Vernetzung auftretende Polymerisationsschrumpfung. Diese ist umso geringer, je länger die Molekülketten des Monomers sind, während Länge der Molekülkette und Viskosität sich direkt proportional verhalten. Da das bei zu großer Viskosität erforderliche Zusetzen von Verdünnungsmonomeren im Gegenzug die Polymerisationsschrumpfung er-

hört, ist es bislang nicht gelungen, Komposite ohne Polymerisationsschrumpfung herzustellen [84].

Die *Verbundphase* besteht aus bifunktionellen Silanen, die als Haftvermittler zwischen organischer Monomermatrix und anorganischen Füllkörpern dienen. Die Silane reagieren sowohl mit der Oberfläche der Füllkörper als auch mit den Matrixanteilen und bewirken eine bessere Verbindung der anorganischen Füllkörper mit der organischen Matrix. Dadurch steigt die mechanische Festigkeit des Komposits.

Die *anorganischen Füllkörper* bestehen aus Quarzen, Gläsern, Keramiken oder Silikaten. Sie sind verantwortlich für die physikalischen Eigenschaften der Komposite. Auch die Abrasionsresistenz wird im Wesentlichen durch den Füllkörperanteil bestimmt.

Die Klassifizierung der Komposite nach Lutz et al. [67] basiert auf den unterschiedlichen anorganischen Füllkörpertypen (Makrofüller, Mikrofüller und Mikrofüllerkomplexe). Unter Berücksichtigung der organischen Matrix sowie der Verbundphase lassen sich vier verschiedene Kompositsysteme ableiten (Abb. 1).

Konventionelle Komposite bestehen aus organischer Matrix, Verbundphase und Makrofüllern. Die Partikel der Füllstoffe sind mit einem Durchmesser von 2 bis 15  $\mu\text{m}$  relativ groß. Ein hoher Füllstoffanteil hat einerseits günstige physikalische Eigenschaften zur Folge, während konventionelle Komposite auf der anderen Seite aufgrund der großen Füllkörper als schwer polierbar gelten. Beim Finieren und Polieren trifft das Schneide- bzw. Schleifinstrument auf Quarz- oder Glaspartikel des Füllers, die viel härter als die Kunststoffmatrix sind. Auf diese Weise wird die Matrix abgetragen, während die Füllerpartikel herausragen oder Löcher entstehen [67].

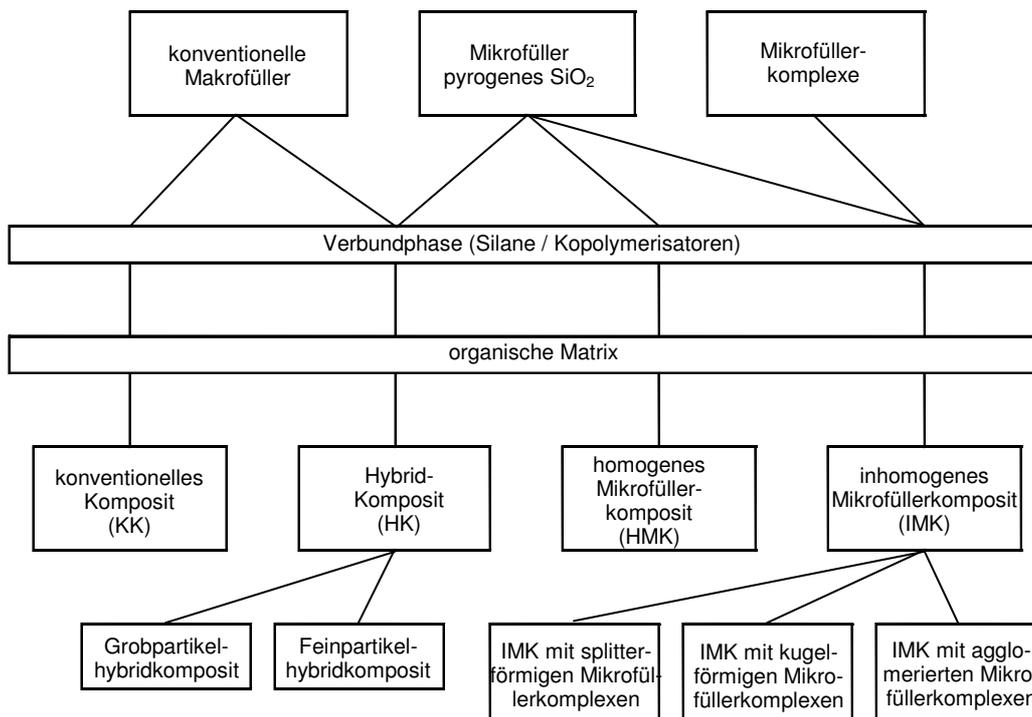


Abb. 1: Zusammensetzung der verschiedenen Komposite (nach Lutz et al. [67])

Homogene Mikrofüllerkomposite setzen sich aus organischer Matrix, Verbundphase und Mikrofüllern zusammen, wobei die Füllstoffe aus Quarzpartikeln mit einer durchschnittlichen Korngröße von 0,01-0,1 $\mu$ m bestehen. Diese extrem kleine Füllkörpergröße führt zu überlegenen ästhetischen Eigenschaften, da die Füllpartikel wenig Ansatz für füllerherauslösende Verschleißprozesse bieten. Nachteilig wirkt sich jedoch der geringe anorganische Füllkörperanteil aus, der zu einer beträchtlichen Polymerisationsschrumpfung, zu einem hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und vor allem zu einer geringeren mechanischen Festigkeit führt [67].

Inhomogene Mikrofüllerkomposite bestehen neben einer organischen Matrix und einer Verbundphase aus Mikrofüllern und Mikrofüllerkomplexen. Der hohe Füllstoffanteil gewährleistet eine gute Abrasionsresistenz. Die durchschnittliche Partikelgröße der Füllstoffe liegt bei 0,04  $\mu$ m, so dass sich die Komposite her-

vorrangig polieren lassen. Die homogenen und ästhetisch ansprechenden Ergebnisse sind darauf zurückzuführen, dass die feinen Füllpartikel nicht so leicht herausgeschlagen, sondern gleichmäßig mit der Matrix abgetragen werden. Nachteile der inhomogenen Mikrofüllerkomposite sind ihre Anfälligkeit für Verarbeitungsfehler, ihre größere Polymerisationsschrumpfung sowie ihre schlechteren physikalischen Eigenschaften [67].

Hybridkomposite setzen sich aus organischer Matrix, Verbundphase sowie einer Kombination aus Makro- und Mikrofüllern zusammen, wobei die durchschnittliche Partikelgröße der Füllkörper 0,3-2  $\mu\text{m}$  bei Feinpartikelhybridkompositen und 2-10  $\mu\text{m}$  bei Grobpartikelhybridkompositen beträgt. Hybridkomposite vereinen die positiven physikalischen Eigenschaften der konventionellen Komposite mit den günstigen optischen Eigenschaften der Mikrofüllerkomposite [67].

Aufgrund ihrer ausgewogenen Eigenschaften werden Feinpartikelhybridkomposite von den meisten Autoren als universelles Komposit für die Anwendung sowohl im Front- als auch im Seitenzahnbereich empfohlen [16, 28, 65].

### **2.3 Ausarbeitung und Politur**

Die Ausarbeitung und Politur von Kompositfüllungen ist aus verschiedenen Gründen, auf die in der Einleitung bereits eingegangen wurde, obligatorisch. Zu deren praktischer Durchführung wurden von Krejci und Lutz [58] bereits 1984 umfangreiche Überlegungen angestellt. So sollte zuerst eine Grobausarbeitung erfolgen, bei der Überschüsse und die füllstoffarme Oberflächenschicht entfernt werden. Daran schließt sich die Konturierung der Füllung an, wo entsprechend der ursprünglichen Zahnmorphologie bzw. der antagonistischen Kontaktsituation die Füllungsoberfläche konturiert wird. Beim nachfolgenden Finie-

ren der Füllung sollte eine vorbereitende Glättung der Oberfläche erfolgen und die Füllgränder definitiv bearbeitet werden. Die abschließende Politur sorgt für eine größtmögliche Reduktion der Rautiefen und damit für einen ästhetischen Hochglanz, der die Oberfläche homogen erscheinen lässt.

## **2.4 Methoden zur Ausarbeitung und Politur**

### **2.4.1 Allgemeine Bemerkungen**

In der Literatur finden sich zahlreiche Studien zur Ausarbeitung und Politur von Kompositfüllungen, in denen unterschiedlichste Schleif- und Polierkörper sowie die verschiedensten Kompositmaterialien untersucht wurden. In Anbetracht der fortlaufenden werkstoffkundlichen Weiterentwicklung der Kompositmaterialien und der auf den jeweiligen Komposittyp abgestimmten Schleif- und Polierkörper gibt es eine Vielzahl von Ausarbeitungshinweisen mit unterschiedlichen Instrumentenangaben. Die meisten Studien stützen sich auf plane Probekörper der jeweiligen Werkstoffe, während sich nur wenige Untersuchungen mit der rotierenden Bearbeitung von anatomisch geformten Oberflächen befassen.

### **2.4.2 Ausarbeitung und Politur von Glattflächen**

Flexible aluminiumoxidbeschichtete Disks erzielen bei allen Komposittypen einen guten Glättungseffekt. Dies wird auf die Härte der Aluminiumoxidpartikel zurückgeführt, die größer ist als die der Füllpartikel der Komposite. Durch Verwendung verschiedener Körnungen ist sowohl die Ausarbeitung als auch die Politur von Kompositen möglich. Der Einsatz der Disks sollte unter Wasserkühlung erfolgen, um einen gleichmäßigen Abtrag von Matrix und Füllkörpern zu erzielen. Bei trockener Bearbeitung ragen Füllpartikel aus der Oberfläche [103].

Flexible Disks sind das am häufigsten untersuchte Ausarbeits- und Politurverfahren, das in zahlreichen Studien profilometrischen und/oder rasterelektronenmikroskopischen Evaluierungen unterworfen wurde, wobei für alle Kompositstypen auf planen bzw. konvexen Flächen ein guter Glättungseffekt nachgewiesen werden konnte [6, 12, 13, 22, 23, 29, 34, 35, 38, 39, 46, 48, 49, 58, 59, 66, 72, 80, 82, 85, 88, 97, 100, 102, 103, 109, 113].

### 2.4.3 Strukturierte Oberflächen

Studien zur Ausarbeitung und Politur von strukturierten Oberflächen gibt es bislang nur wenige, was auch auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass Kompositfüllungen im okklusionstragenden Seitenzahnbereich erst seit einigen Jahren Anwendung finden. Außerdem sind in diesem Zusammenhang methodische Probleme bei der Anfertigung und Auswertung strukturierter Prüfkörper bzw. Oberflächen zu nennen.

#### 2.4.3.1 Ausarbeitung von strukturierten Oberflächen

Generell werden zur Ausarbeitung strukturierter Oberflächen starre rotierende Instrumente empfohlen, die Politur dagegen erfolgt mit flexiblen rotierenden Instrumenten, die in verschiedenen Formvariationen verwendet werden.

Als starre rotierende Instrumente werden von den meisten Autoren entweder Diamanten oder Hartmetallfinierer favorisiert. Diamantfinierer ermöglichen eine schonende Bearbeitung der Kompositoberflächen [58, 68], wobei ihre Abtragsleistung im Vergleich zu Hartmetallfinierern signifikant größer ist [43, 57]. Allerdings führt das aggressive Schneidverhalten von diamantierten Instrumenten beim Bearbeiten von Zahnschmelz zu Mikrorissen, deren Tiefe von der verwendeten Körnung abhängig ist [112], weshalb beim Finieren von Füllungsrandbereichen mit Diamantinstrumenten besondere Vorsicht geboten ist. Die

großen Oberflächenrauigkeiten nach Anwendung von Diamantfinierern werden häufig als Nachteil angesehen [29, 43, 47, 49, 60]. Andere Autoren hingegen konnten keinen Unterschied zwischen den Rautiefen nach Einsatz von Diamant- und Hartmetallfinierern feststellen [58, 68, 85] oder erzielten mit Diamantfinierern sogar glattere Oberflächen als mit Hartmetallfinierern [34]. Eine iatrogene Zahnschmelzabrasion wurde von Mitchell et al. [72] sowohl bei Hartmetall- als auch bei ultrafeinen Diamantfinierern beobachtet.

Hinsichtlich der Verwendung von Hartmetallfinieren zur Ausarbeitung von Kompositen gibt es in der Literatur unterschiedliche Auffassungen. Während sie bei Mikrofüllerkompositen überwiegend negativ beurteilt werden [58, 68], wird ihre Anwendung bei Hybridkompositen befürwortet [6, 43, 46, 52, 60].

Beispielsweise untersuchten Boghosian et al. [8] ein inhomogenes, mikrogefülltes Komposit und ein Hybridkomposit bezüglich ihres Ausarbeitsverhaltens bei Verwendung von Ausarbeitsdiamanten (Diamantpartikelgröße 15  $\mu\text{m}$  und 25  $\mu\text{m}$ ) und 12- bzw. 30-blättrigen Hartmetallfinierern. Die Bewertung der Oberflächen des mikrogefüllten Komposits mittels Rasterelektronenmikroskop ergab, dass Hartmetallfinierer starke Oberflächenrauigkeiten verursachten. Sie wurden daher von den Autoren als kontraindiziert eingestuft. Das Ausarbeitungsergebnis der Diamanten war hingegen als gut zu bewerten. Anders als beim mikrogefüllten Komposit waren die Ergebnisse beim Hybridkomposit, wo mit Hartmetallfinierern eine bessere Oberfläche erzielt wurde als bei Verwendung von Ausarbeitsdiamanten.

Herrgott et al. [34] bestimmten im Rahmen einer profilometrischen Untersuchung die Oberflächenrauigkeiten beim Ausarbeiten von Hybridkompositen mittels Hartmetallfinierern und Ausarbeitsdiamanten. Dabei schnitten die feinen und mittelfeinen Diamanten (Partikelgröße 40  $\mu\text{m}$  und 50  $\mu\text{m}$ ) besser ab als die 30-blättrigen Hartmetallfinierer, gefolgt von den groberen Ausarbeitsdiamanten (Diamantpartikelgröße  $> 100 \mu\text{m}$ ) und den 12-blättrigen Hartmetallfinierern. Die Autoren empfahlen jedoch, das Ausarbeiten mit den Dia-

manten auf das initiale Konturieren zu beschränken, da die Diamanten nicht nur das Füllungsmaterial, sondern auch die Substanz des angrenzenden Schmelzes abgetragen hatten.

Goldstein und Waknine [29] verglichen die Effektivität von 15 verschiedenen Ausarbeitungsmethoden quantitativ mittels Profilometer und qualitativ mittels rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen an einem Hybridkomposit. Folgendes Verfahren zeigte statistisch signifikant bessere Ergebnisse als die anderen Methoden: Das Hybridkomposit wurde bei dieser Technik zunächst mit feinen Ausarbeitungsdiamanten konturiert sowie finiert und anschließend mit Gummipolierern poliert. Die Grobausarbeitung war bei allen Methoden mit Diamanten und Hartmetallfinierern erfolgt. Es zeigte sich, dass die mit Diamanten bearbeiteten Füllungen schlechtere Rauigkeitswerte aufweisen, aber besser zu polieren waren.

Ebenso untersuchte Jung [41] den Einfluss von Diamant- und Hartmetallfinierern sowie eines keramisch beschichteten Finierers auf die Oberfläche von Hybridkompositprüfkörpern, die innerhalb eines Phantomkopfes unter praxisähnlichen Bedingungen bearbeitet und anschließend profilographisch und rasterelektronenmikroskopisch ausgewertet wurden. Hierbei zeigte sich, dass die Diamantfinierer durchgehend rauere Kompositoberflächen hinterließen als die Hartmetallfinierer, während die keramisch beschichteten Finierer den Diamantfinierern mittlerer Körnung vergleichbar waren.

Rotierende aluminiumoxidimprägnierte weiße Steine wurden vor allem in den frühen Studien zur Oberflächenbearbeitung empfohlen. Dabei fanden Heath et al. [33] bei weißen Ausarbeitungssteinen eine im Vergleich zu Hartmetallfinierern deutlich geringere Oberflächenrauigkeit. Allerdings beobachteten Krejci und Lutz [58] nach Verwendung der weißen Ausarbeitungssteine häufiger Mikrorisse, die vermutlich durch die auf den starren und unwuchtigen Instrumentenkörper zurückzuführende, „schlagende“ Bearbeitungsweise hervorgerufen wurden.

Die teilweise voneinander abweichenden Ergebnisse der verschiedenen Studien zur Ausarbeitung von strukturierten Oberflächen beruhen möglicherweise auf den unterschiedlichen Materialeigenschaften der verwendeten Komposittypen, der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Ausarbeitungsinstrumente, der fehlenden Normierung der Untersuchungsbedingungen und den zum Teil stark differierenden Umdrehungszahlen, mit denen die einzelnen Ausarbeitungsinstrumente betrieben wurden.

#### 2.4.3.2 Politur von strukturierten Oberflächen

Während mit aluminiumoxidbeschichteten Disks bei allen Komposittypen auf planen bzw. konvexen Flächen ein guter Glättungseffekt zu erzielen ist [6, 12, 13, 22, 23, 29, 34, 35, 38, 39, 46, 48, 49, 58, 59, 66, 72, 80, 82, 85, 88, 97, 100, 102, 103, 109, 113], sind sie nach Auffassung verschiedener Autoren für die Politur konkaver und anatomisch strukturierter Oberflächen nicht geeignet [13, 24, 53, 61, 70, 98, 100].

Neben flexiblen Disks stehen zur Politur von Kompositen Silikonpolierer, diamantimprägnierte Filzpolierer, Polierbürstchen oder Polierpasten auf Diamant- oder Aluminiumoxidbasis zur Verfügung [45].

Aufgrund der relativ weichen Siliziumoxid-Abrasivpartikel (Härte 7 nach Mohs [51]) werden Silikonpolierer nur für die Politur von mikrogefüllten Kompositen empfohlen, da beim Vorhandensein harter Füllpartikel, wie z.B. bei Hybridkompositen, ein selektives Abtragen der weicheren Kompositmatrix beschrieben wurde [29, 79, 100].

Gute Ergebnisse bei der Politur eines Feinpartikelhybridkomposits mit den relativ neuartigen diamantimprägnierten Filzpolierern konnten Jung et al. [47] nach Vorbehandlung mit Diamant- und Hartmetallfinierern erzielen, wobei der arithmetische Mittenrauwert signifikant niedriger war als nach Anwendung flexibler Disks. Die Politur eines mikrogefüllten Komposits mit einem diamantimprägnierten Filzrad war der Politur mit flexiblen Disks im Ergebnis vergleichbar und erreichte Rauigkeitswerte, die kleiner waren als diejenigen natürlicher Schmelzoberflächen [110].

Ebenso noch relativ neu und bisher wenig untersucht sind Polierbürstchen, bei denen die Polierkörper in die Bürstenfilamente eingearbeitet sind. In einer Studie von Krejci et al. [59] konnte eine wirksame Reduzierung der Rautiefen gezeigt werden.

Die Effizienz von Polierpasten wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Beispielsweise konnten Whitehead und Wilson [106] nach Anwendung verschiedener Polierpasten bei mehreren Komposittypen eine Reduktion von Rautiefen beobachten und empfahlen Polierpasten zur Politur von konkaven und anatomisch strukturierten Flächen. Hondrum und Fernandez [36] erzielten mit einem System aus zwei diamantierten Polierpasten an einem Feinpartikelhybridkomposit im Vergleich zu mehreren anderen Poliermethoden die geringsten Rautiefen. Auch in einer Untersuchung von Kaplan et al. [52] hinterließ die diamantimprägnierte Polierpaste an vier Hybridkompositen im Vergleich zu zwei anderen Methoden (Aluminiumoxid-Disks und -Paste sowie Hartmetallfinierer und Aluminiumoxid-Paste) signifikant geringere Rautiefen. Nach Tate et al. [98] hängt die Effizienz von Polierpasten von der Qualität der Vorbehandlung ab, weshalb diese nicht zur abschließenden Anwendung nach jedem Ausarbeitungsverfahren empfohlen werden können. Beispielsweise trat bei Verwendung einer Polierpaste im Anschluss an die Benutzung flexibler Disks oder eines Silikonpolierers keine Verbesserung der Oberflächenglätte ein [100].

## 2.5 Evaluierung von Oberflächen

Bei der Beurteilung von Oberflächen ist generell zwischen quantitativen und qualitativen Verfahren zu unterscheiden.

Das in der Zahnheilkunde am häufigsten eingesetzte quantitative Verfahren zur Oberflächenevaluierung ist die Abtastung von Oberflächen nach dem elektrischen Tastschnittverfahren, die sog. Profilometrie [19].

Profilunregelmäßigkeiten der Oberfläche führen dabei zur Auslenkung eines über die Oberfläche bewegten Mikrotasters, der als induktiver Messwertempfänger fungiert und das Profil linear in eine elektrische Spannung umwandelt. Die Tastspitze tritt als mechanischer Taster (z.B. in Form einer Diamantspitze unterschiedlichen Durchmessers) in direkten Kontakt mit der zu untersuchenden Oberfläche. Alternativ können optische Mikrotaster in Form eines Laserbündels eingesetzt werden, die nach dem Fokusverfahren mit dynamischer Objektpositionierung arbeiten [44].

Die Auswertung von Tastschnitten erfolgt anhand definierter Oberflächenparameter wie maximaler Rautiefe ( $R_{max}$ ), gemittelter Rautiefe ( $R_z$ ) oder arithmetischem Mittenrauwert ( $R_a$ ). Diese sog. Vertikalparameter charakterisieren eine Oberfläche nur durch ihre Profilamplituden und erlauben noch keine Aussage über die Form einer Oberfläche.

Vorteile des Tastschnittverfahrens sind die große Genauigkeit dieser Methode und die exakte Quantifizierung mit Hilfe unterschiedlicher Kenngrößen, die eine Differenzierung von Rauigkeit und Welligkeit eines Profils ermöglichen. Als Nachteil muss die zeilenartige Abtastung der Oberfläche betrachtet werden, die eine flächenhafte Erfassung nicht oder durch mehrere parallele Tastschnitte nur näherungsweise zulässt. Problematisch ist zudem, dass verschiedene Einflussfaktoren, wie z.B. die Wahl des Tastsystems oder die Wellenfilterung, die

Größe der gemessenen Rautiefen modifizieren und so die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien untereinander einschränken können.

Eine wichtige Ergänzung der quantitativen Methoden stellen qualitative Verfahren dar, da sie eine Beurteilung von Formabweichungen und eine Differenzierung von werkstoff- und bearbeitungsbedingten Profilunregelmäßigkeiten ermöglichen. Während quantitative Verfahren das Vermessen von Profilunregelmäßigkeiten gestatten, erlauben die qualitativen Verfahren also deren Interpretation, wobei die Beurteilung lichtmikroskopisch oder häufiger im Rasterelektronenmikroskop erfolgt [11, 21, 42, 71, 79, 91, 94, 96, 111]. Dabei ist auf ein adäquates Verhältnis zwischen ausreichender Detaildarstellung und gleichzeitiger Beurteilbarkeit eines repräsentativen, entsprechend großen Flächenausschnittes zu achten [32]. Eine Aussage über die Ausprägung von Rauigkeiten ist bei qualitativen Verfahren jedoch nur näherungsweise möglich und von mehreren Faktoren, wie z.B. dem Neigungswinkel des Präparates, abhängig [29].

Aufgrund der Vor- und Nachteile beider Verfahren kamen in den meisten Studien sowohl die Profilometrie und die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zur Anwendung [1, 2, 4, 7, 14, 20, 23, 27, 29, 34, 43, 46, 47, 48, 49, 52, 58, 59, 61, 70, 74, 76, 80, 81, 85, 87, 88, 97, 99, 101, 104, 106, 108].

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne**

Bei den verwendeten Zähnen handelte es sich um 80 kariesfreie extrahierte menschliche dritte Molaren des Ober- und Unterkiefers mit gut ausgeprägtem Fissurenrelief. Beschädigungen, die durch die Extraktion bedingt waren, blieben unberücksichtigt, sofern die Beschädigung deutlich außerhalb der geplanten Kavität lag. Nach der Extraktion wurden die Zähne in 10%iger Thymolösung gelagert.

Schließlich wurden die Zähne mit Hilfe eines Kunststoffes (Palavit G, Fa. Kulzer, Hanau) innerhalb einer geschlossenen Zahnreihe an die Position des Zahnes 46 in ein Unterkiefermodell („Frasaco-Modell“, Franz Sachs & Co, Tettang) einpolymerisiert. Dieses Modell wurde in einem Phantomkopf befestigt, der sich wiederum an der Rückenlehne eines zahnärztlichen Behandlungstuhls befand (Abb. 2). Alle Bearbeitungsschritte, also Überschussbeseitigung, Konturierung, Finieren und Politur, wurden unter diesen praxisähnlichen Versuchsbedingungen durchgeführt. Eine praxisnahe Situation wurde zusätzlich durch eine Limitierung der einzelnen Bearbeitungsschritte auf je 60 sec simuliert.



Abb.2: An der zahnärztlichen Behandlungseinheit befestigter Phantomkopf mit Kiefermodellen

### 3.2 Kavitätenpräparation

Die extrahierten Zähne wurden mit einflächigen, okklusalen Kavitäten versehen. Die Ausdehnung der Kavität wurde so gewählt, dass der anatomisch interessante Fossabereich deutlich im Kavitätenumriss lag. Zudem sollte die Ausdehnung der Kavität bei allen Zähnen nahezu gleich groß sein, um die Vergleichbarkeit der Proben untereinander zu gewährleisten. Um eine ausreichend große Füllungsfläche zu erhalten und gleichzeitig bei kleineren Zähnen nicht in den Bereich der Randleisten zu gelangen, erwies sich eine Kavitätengröße von ca. 3 mm (bukkal-lingual) x 4 mm (mesial-distal) als besonders geeignet. Die Kavitätentiefe betrug 2 mm. Zur Präparation wurde ein zylindrischer grober Diamantschleifkörper (Nr. 806 314 110524 018, Fa. Komet, Lemgo) verwendet.

Zum anschließenden Finieren der Kavität wurde ein Diamantfinierer gleicher Größe (Nr. 806 314 110514 012, Fa. Komet, Lemgo) benutzt. Die Überprüfung der Kavitätengröße erfolgte mit einer Schieblehre.

### **3.3 Verwendetes Komposit**

Bei dem Füllungsmaterial Tetric Ceram (Vivadent, Ellwangen-Jagst) handelte es sich um ein lichthärtendes Feinpartikelhybridkomposit, das als Füllstoffe kleinste Partikel aus Bariumglas, Ytterbiumtrifluorid, Ba-Al-Fluorsilikatglas, hochdisperssem Siliziumdioxid und sphärischem Mischoxid enthält. Insgesamt beträgt der Fülleranteil 79,0 Gew.%. Die organische Monomermatrix besteht aus BIS-GMA (Bisphenol-A-Glycidyl-Dimethacrylat), Urethandimethacrylat und Triethylenglycoldimethacrylat. Insgesamt beträgt der Anteil der organischen Monomermatrix 20,2 Gew.%. Zusätzlich enthalten sind Katalysatoren, Stabilisatoren und Pigmente (0,8 Gew.%). Tetric Ceram lag dosiert in zuschraubbaren Spritzen mit Lichtschutzkappe in der Farbe B2 vor (Charge-Nr. 915289).

### **3.4 Füllen der Kavitäten**

Die mit einer okklusalen Kavität versehenen Molaren wurden anschließend mit Komposit gefüllt. Dazu wurden die präparierten Zähne im Schmelzbereich für 40 sec mit 37%iger Phosphorsäure (Esticid Gel, Heraeus-Kulzer, Dormagen) geätzt. Nach dem Spülen und Trocknen wurden die Kavitäten zweimal mit Haftvermittler (Syntac Single Component, Vivadent, Ellwangen) benetzt, der jeweils mit Druckluft zu einer dünnen Schicht ausgeblasen und für 20 sec mit einem fabrikneuen Lichtgerät (XL 2500, 3M, Borken) ausgehärtet wurde. An-

schließlich wurden die Kavitäten mit einem Heidemann-Spatel nach den Regeln der Schichttechnik zur Minimierung der Auswirkungen der Polymerisationsschrumpfung gefüllt und mit dem oben beschriebenen Lichtgerät 40 sec pro Schicht ausgehärtet. Das Okklusionsrelief wurde, ausgehend von den umgebenden anatomischen Strukturen, durch Interpolation modelliert.

### **3.5 Ausarbeiten und Polieren der Füllungen**

#### **3.5.1 Bearbeitungsmethoden**

Alle Kompositfüllungen wurden zunächst mit einem Diamant- und anschließend mit einem Hartmetallfinierer ausgearbeitet und finiert. Zur Politur standen vier unterschiedliche Poliersysteme zur Verfügung, so dass ein Versuchsaufbau mit vier unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden entstand. Abb. 3 stellt die genaue Abfolge der Bearbeitungsmethoden schematisch dar. Die verwendeten Schleif- und Polierkörper werden in Gliederungspunkt 3.5.2 ausführlich beschrieben.

Die 80 mit einer Kompositfüllung versehenen Molaren wurden randomisiert den vier verschiedenen Bearbeitungsmethoden zugeordnet, so dass jeder Untersuchungsgruppe 20 Prüfkörper zur Verfügung standen. Da sich bei einer Vielzahl von Bearbeitungsschritten mit rotierenden Instrumenten Gewöhnungseffekte nicht ausschließen lassen, war die Bearbeitungsreihenfolge in einer Randomisierungsliste festgelegt, um diesem Effekt entgegenzuwirken.

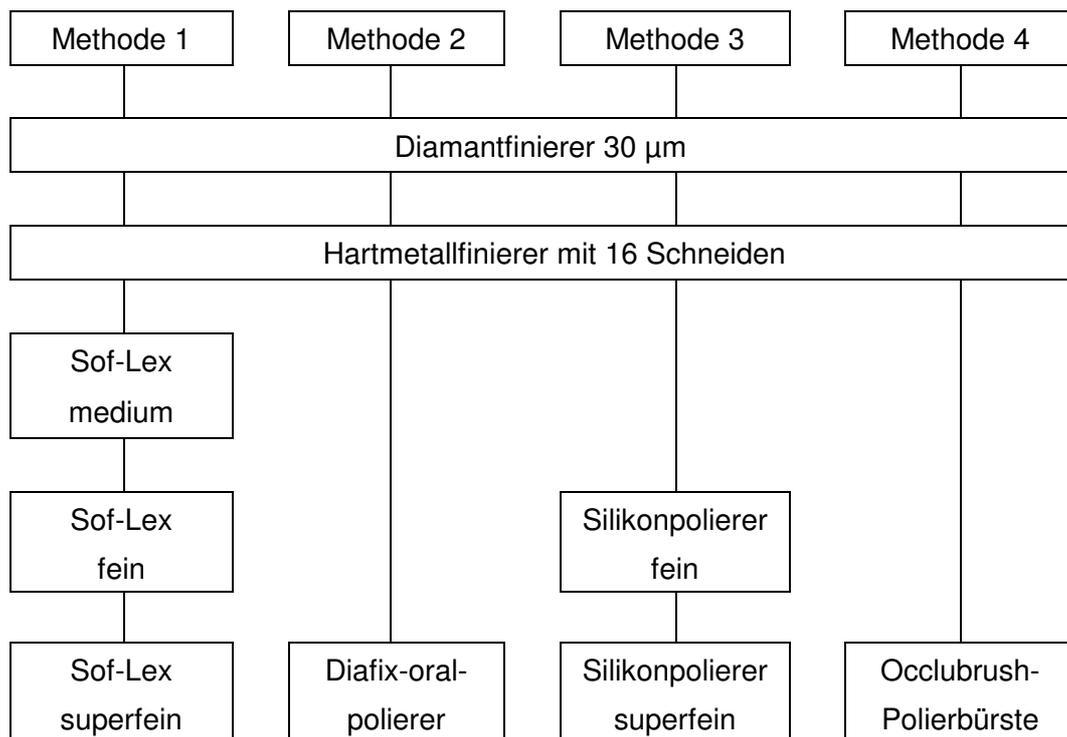


Abb. 3: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden

### 3.5.2 Verwendete Schleif- und Polierkörper

#### 3.5.2.1 Übersicht

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt neun verschiedene Schleif- und Polierkörper eingesetzt, die in Tab. 1 zusammengefasst sind. Dabei handelte es sich um zwei Instrumente zur Ausarbeitung (Lfd. Nr. 1-2) und vier verschiedene Poliersysteme (Lfd. Nr. 3-6).

Die Diamant- und Hartmetallfinierer wurden in einem rotberingten Schnelllaufwinkelstück (24LS /2303 LD, KaVo, Biberach), die unterschiedlichen Polierinstrumente in einem blauberingten Winkelstück (20L / 68LD, KaVo, Biberach) angewendet. In Hinblick auf die erforderliche Drehzahl der verschiedenen rotierenden Instrumente sowie auf die Notwendigkeit einer Wasserkühlung wurden die Herstellerempfehlungen berücksichtigt (Tab. 2).

Tab. 1: Übersicht über die verwendeten Schleif- und Polierkörper

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Typ	Korngröße/ Schneiden- zahl	Abrasivpartikel	Hersteller
1	806 314 537 514 012	Finierer	30 µm	Diamant	Komet, Lemgo
2	500 314 537 072 012	Finierer	16 Schneiden	Hartmetall	Komet, Lemgo
3a	1982 M	flexible Disk (Sof-Lex)	27 µm	Aluminiumoxid	3M, Borken
3b	1982 F	flexible Disk (Sof-Lex)	14 µm	Aluminiumoxid	3M, Borken
3c	1982 SF	flexible Disk (Sof-Lex)	5 µm	Aluminiumoxid	3M, Borken
4	23275	Filzscheibe (Diafix-oral)	3-5 µm	Diamant- partikel	Müller Dental, Lindlar
5a	0198	Polierspitze fein (Composite)	28 µm	Siliziumkarbid	Shofu, Ratingen
5b	0298	Polierspitze superfein (Composite)	5-7 µm	Siliziumkarbid	Shofu, Ratingen
6	2505	Polier- bürstchen (Occlubrush)	5 µm	Siliziumkarbid	HaweNeos, Biogio, Schweiz

Tab. 2: Drehzahl und Wasserkühlung der verwendeten Schleif- und Polierkörper

Instrument	Instrumentendrehzahl [U/min]	Wasserkühlung ja/nein
Diamantfinierer 30 µm	40 000	ja
Hartmetallfinierer	40 000	ja
Sof-Lex-Disk medium	6 000	ja
Sof-Lex-Disk fein	6 000	ja
Sof-Lex-Disk superfein	6 000	ja
Diafix-oral-Polierer	3 000	nein
Siliziumkarbidpolierer fein	10 000	ja
Siliziumkarbidpolierer superfein	10 000	ja
Occlubrush-Polierbürstchen	5 000	nein

### 3.5.2.2 Ausarbeitungsinstrumente

Zur initialen Ausarbeitung, d.h. zur Überschussbeseitigung, zum Finieren und zum Konturieren, wurden bei allen Bearbeitungsmethoden die gleichen Instrumente verwendet. Die Oberflächen wurden zuerst mit einem 30 µm-Diamantfinierer (Lfd. Nr. 1 in Tab. 1) instrumentiert, der ein hohlkehlig geformtes, kurzes Arbeitsteil aufwies (Abb. 4). Die spitz zulaufende Form war erforderlich, um vor allem auch die Fissurenareale ausarbeiten zu können. Das kurze Arbeitsteil erwies sich dabei als zweckmäßig. Anschließend wurden alle Füllungsflächen mit einem Hartmetallfinierer mit 16 Schneiden (Lfd. Nr. 2) bearbeitet. Wie in Abb. 4 erkennbar, hatte der Hartmetallfinierer die gleiche Form wie der Diamantfinierer. Abb. 5 zeigt die beiden Ausarbeitungsinstrumente in der REM-Aufnahme.

### 3.5.2.3 Polierinstrumente

Zur Politur der Kompositfüllungen wurden vier verschiedene Poliersysteme eingesetzt:

➤ Sof-Lex-Disks (3M Medica, Borken)

Die flexiblen Sof-Lex-Disks sind einseitig mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Partikeln beschichtet. Sie werden für die klinische Anwendung in zwei verschiedenen Durchmessern angeboten. Die kleinere Ausführung hat einen Durchmesser von 9,5 mm, während für die Bearbeitung größerer Flächen Disks mit einem Durchmesser von 12,5 mm verwendet werden. Letztere wurden im Rahmen dieser Untersuchung eingesetzt. Sof-Lex-Disks sind in vier verschiedenen Korngrößen erhältlich, wovon in der vorliegenden Studie aufgrund der Vorbereitung der Oberflächen mit Diamant- und Hartmetallfinierern nur die drei feineren Abstufungen berücksichtigt wurden (medium: Korngröße ca. 29 µm; fein: Korngröße ca. 14 µm; superfein: Korngröße ca. 5 µm). Die Disks wurden zur Anwendung auf ein Mandrell aufgesteckt. Abb. 6 zeigt die verwendeten Sof-Lex-Disks, Abb. 7 stellt deren Arbeitsseite in der REM-Aufnahme dar.



Abb. 4: *oben*: 30 µm-Diamantfinierer (Komet, Lemgo)  
*unten*: Hartmetallfinierer mit 16 Schneiden (Komet, Lemgo)

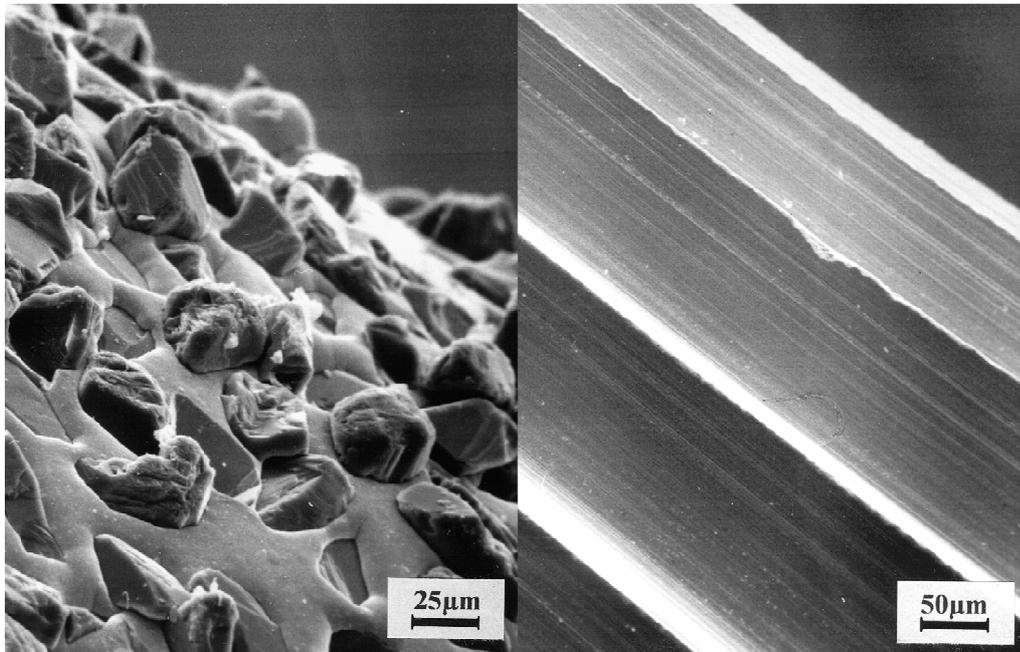


Abb. 5: REM-Aufnahme des Diamant- und des Hartmetallfinierers

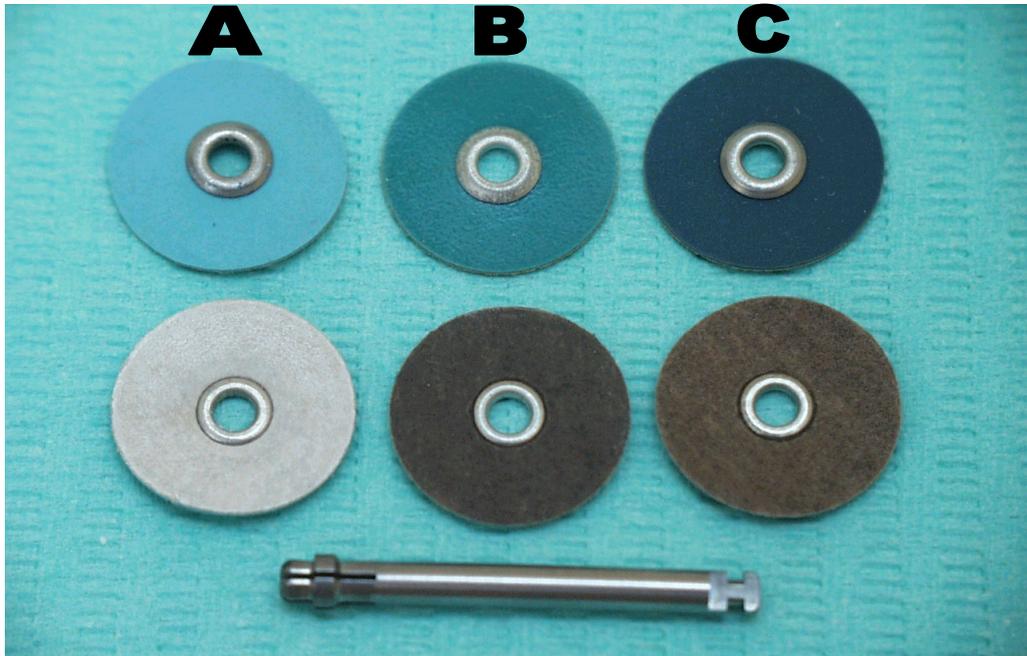


Abb. 6: Sof-Lex-Disks (3M, Borken) in drei Korngrößen (A = superfein, B = fein, C = medium) mit Mandrell

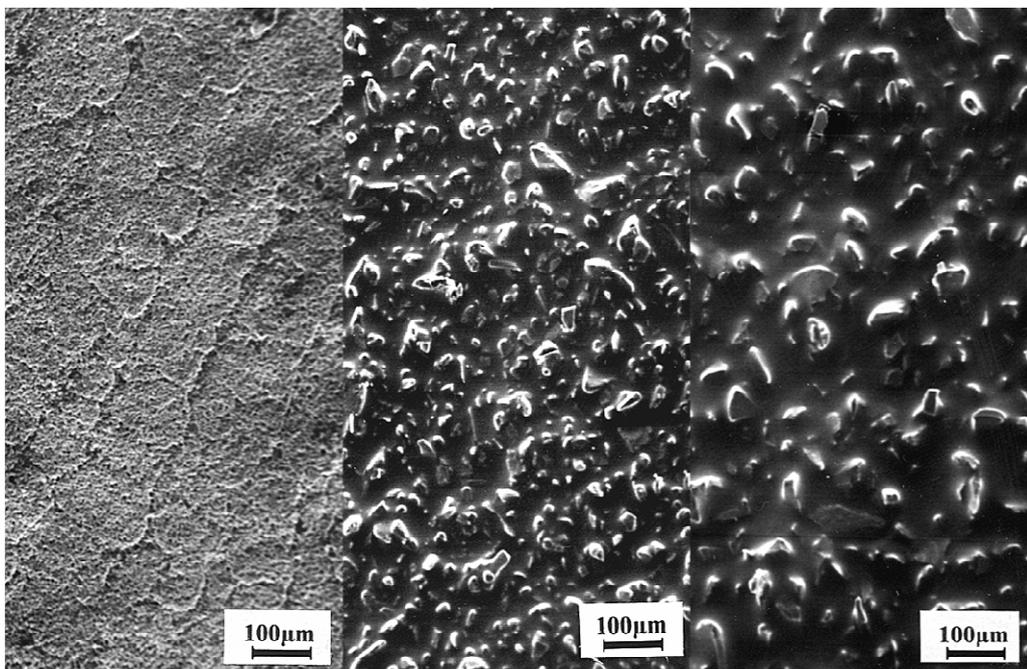


Abb. 7: REM-Aufnahme der Arbeitsseiten der drei unterschiedlich gekörnten Sof-Lex-Disks

➤ Diafix-oral (Müller Dental, Lindlar)

Beim Diafix-oral-Polierer handelt es sich um ein walzenförmiges Polierinstrument, das aus einer Filzmatrix besteht (Abb. 8). In diese Matrix sind mit Hilfe von Wachs Diamantpartikel der Größe 3-5  $\mu\text{m}$  eingebettet. Die Polierwalze ist auf einem Kunststoffmandrell vormontiert. Der Diafix-oral-Polierer wird in zwei verschiedenen Dicken angeboten, wobei in der vorliegenden Untersuchung ein Polierer mit einem Durchmesser von 6 mm und einer Dicke von 1 mm verwendet wurde (Abb. 8). Abb. 9 stellt die in die Filzmatrix eingebetteten Diamant-Abrasivpartikel im Rasterelektronenmikroskop dar.

➤ Composite (Shofu-Dental GmbH, Ratingen)

Die speziell für Kompositoberflächen entwickelten Composite-Polierer gehören zur Gruppe der Silikonpolierer. Sie werden in acht verschiedenen Formen angeboten, wobei in der vorliegenden Untersuchung eine Polierspitze zur Anwendung kam (Abb. 10). Das Composite-Polierset ist ein Polierverfahren in zwei Abstufungen, welches durch eine unterschiedliche Farbkodierung am Schaft gekennzeichnet ist. Die in die Matrix eingebetteten Abrasivpartikel bestehen aus Siliziumkarbid in den Körnungsabstufungen „fein“ (ohne Schaftring) und „superfein“ (weißer Schaftring). Abb. 11 zeigt die in die Matrix eingebetteten Abrasivpartikel in der rasterelektronenmikroskopischen Darstellung.

➤ Occlubrush (Hawe Neos Dental, Bioggio, Schweiz)

Bei diesem Polierer handelt es sich um eine Polierbürste, die zur Entfaltung ihrer Wirkung keine zusätzliche Polierpaste braucht, weil Polierkörper aus Siliziumkarbid in die Borstenfilamente eingearbeitet sind. Der Polierer wird nur in einer Abstufung angewendet. Die Polierbürste ist in drei verschiedenen Formen erhältlich, wobei in dieser Untersuchung eine Polierspitze zur Anwendung kam. In Abb. 12 erkennt man deutlich die nahezu parallel angeordneten Kunststofffilamente, die insgesamt eine Spitze bilden. Abb. 13 stellt die einzelnen Bürstenfilamente in der REM-Aufnahme dar.



Abb. 8: Diafix-oral-Polierer (Müller Dental, Lindlar)

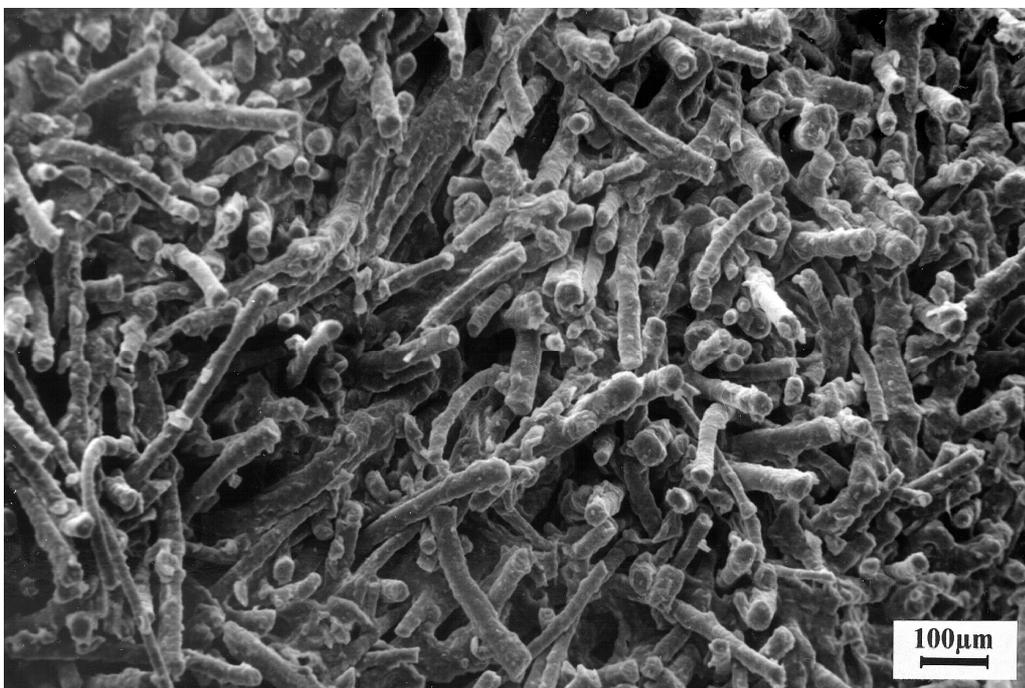


Abb. 9: REM-Aufnahme der in die Filzmatrix eingebetteten Diamant-abrasivpartikel des Diafix-oral-Polierers

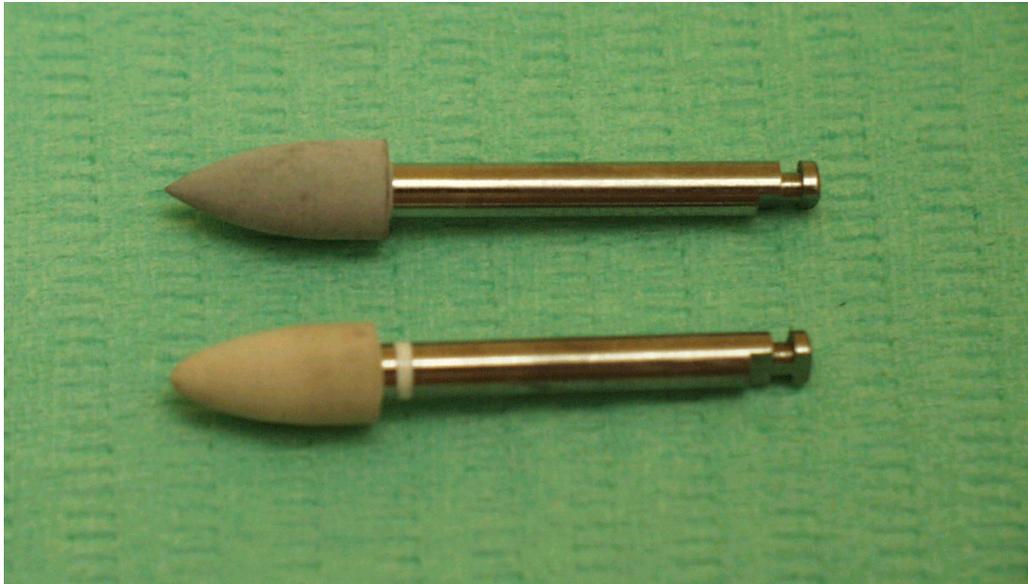


Abb. 10: Composite-Silikonpolierer fein (*oben*) und superfine (*unten*) (Shofu, Ratingen)

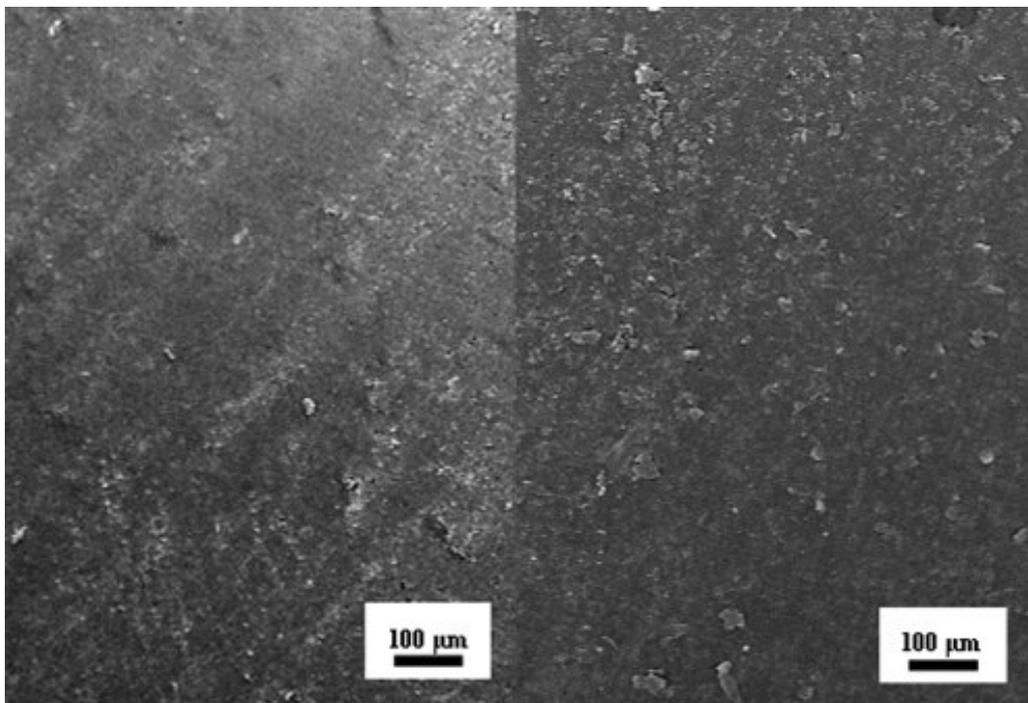


Abb. 11: REM-Aufnahme der in die Matrix eingebetteten Abrasivpartikel des Composite-Silikonpolierers (A = fein, B = superfine)



Abb. 12: Occlubrush-Polierbürste (HaweNeos, Biogio, Schweiz)

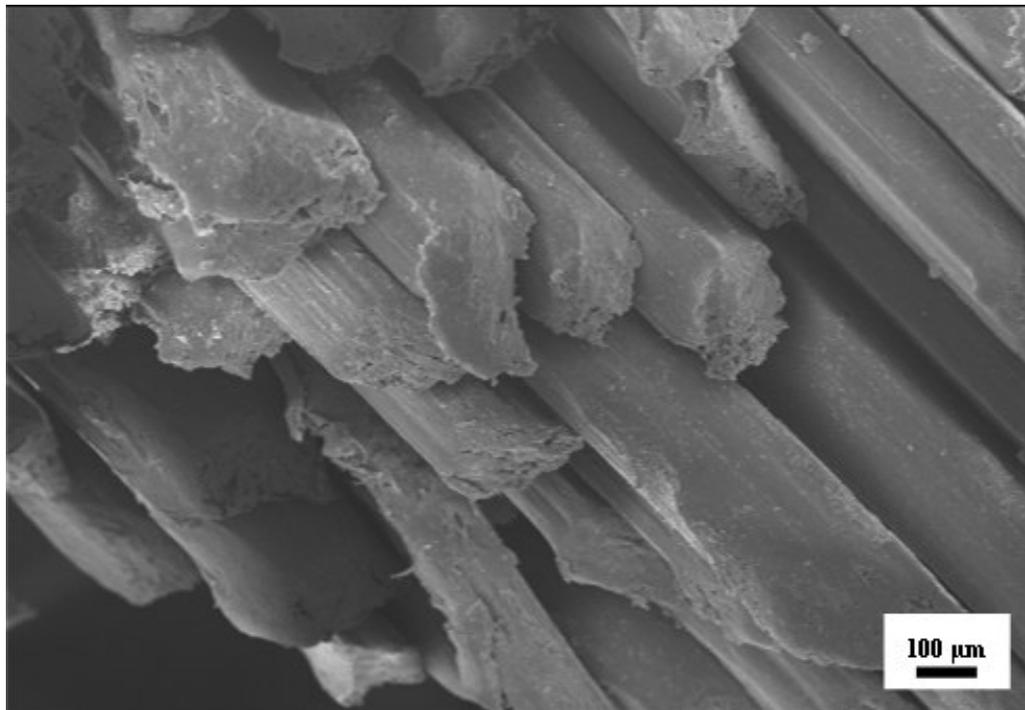


Abb. 13: REM-Aufnahme der Kunststofffilamente der Occlubrush-Polierbürste

## 3.6 Profilometrische Untersuchung

### 3.6.1 Perthometer S8P

Die profilometrische Evaluierung der Kompositoberflächen wurde mit dem Perthometer S8P (Mahr GmbH, Göttingen) durchgeführt.

Beim Perthometer S8P wird der gesamte Messvorgang durch einen Mikroprozessor gesteuert. Diese Technik ermöglicht das zeitgleiche Aufzeichnen des Profils auf dem Bildschirm und die unmittelbare Ausgabe aller gewünschten Kennwerte im Anschluss an die Messung.

Der komplette Oberflächenmessplatz besteht aus einem Mikrotaster, einem Vorschubgerät und einem Rechner bzw. Auswertgerät. Der mechanisch mit dem Vorschubgerät verbundene Mikrotaster wird während des Messvorganges über die zu prüfende Oberfläche bewegt. Die durch die Oberflächenrauigkeiten verursachten Tasterauslenkungen werden in elektrische Signale umgewandelt und dem Perthometer S8P übermittelt. Die elektrischen Signale werden hier verarbeitet und die gewünschten Mess- und Kenngrößen berechnet. Über den integrierten Drucker besteht die Möglichkeit, sich die Messwerte der gewünschten Messgrößen sowie die Messbedingungen und das Profil ausdrucken zu lassen. In dem in Abb. 14 gezeigten Messprotokoll sind im oberen Fenster die aktuellen Messbedingungen, wie Länge des Tastbereiches (LT), Größe des Vertikalbereiches (VB), Objektname, Benutzer, laufende Messnummer und verwendeter Mikrotaster spezifiziert. Im mittleren Fenster ist das aufgezeichnete Profil zu erkennen, während im unteren Fenster die gewünschten Oberflächenkenngrößen angegeben werden.

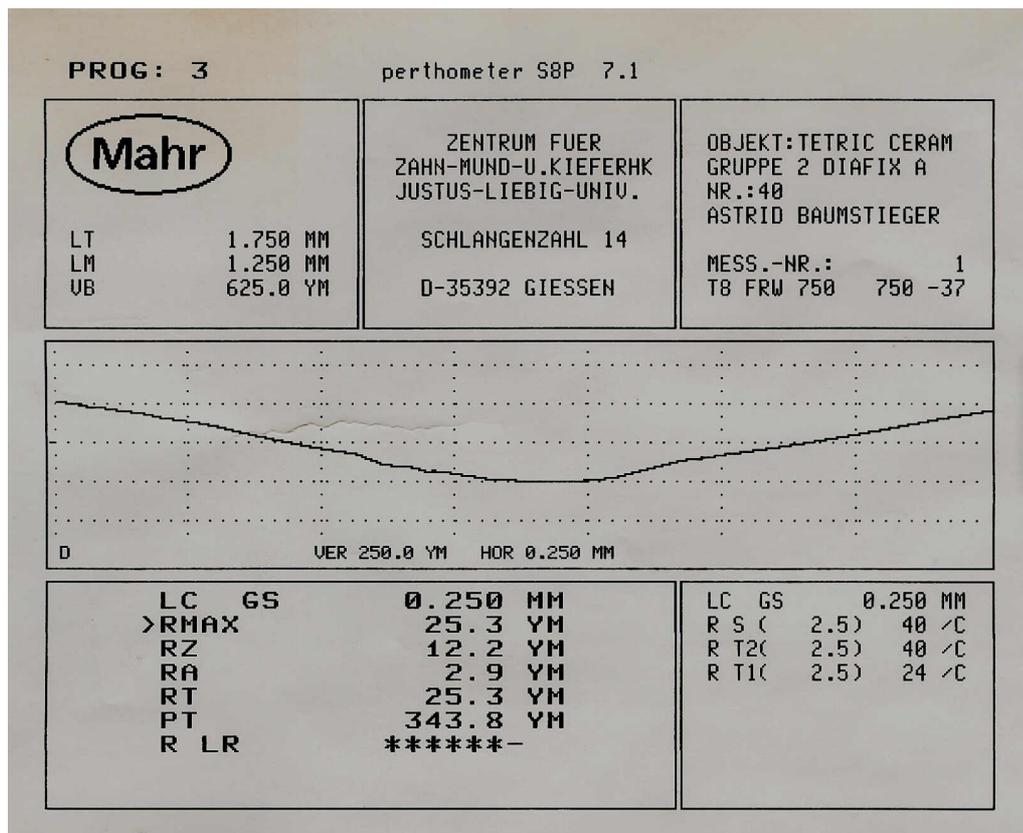


Abb. 14: Beispiel eines Messprotokollausdruckes des Perthometer S8P

### 3.6.2 Messbedingungen

Der Vertikalbereich ist eine Art Rahmen, der die obere und untere Grenze für das gemessene Profil angibt. Um die hohe Auflösung der Messwertverarbeitung auszunutzen, ist es wichtig, den Vertikalbereich der zu messenden Profilamplitude optimal anzupassen. Der Vertikalbereich sollte also möglichst klein gewählt werden, aber noch groß genug, um alle Werte zu erfassen. Die Festlegung des Vertikalbereichs orientiert sich an der Empfindlichkeit des angeschlossenen Tasters, die dem S8P über eine Kodierung mitgeteilt wird. Bei dem in der vorliegenden Untersuchung verwendeten mechanischen Mikrotaster (FRW 750) konnte zwischen drei Vertikalbereichen (25,0  $\mu\text{m}$ , 125,0  $\mu\text{m}$  und 625,0  $\mu\text{m}$ ) gewählt werden. Da die Messungen zweckmäßigerweise von Höcker zu Höcker durch die Zentralfissur verlaufen sollten, wurde der größte Vertikalbereich von 650  $\mu\text{m}$  verwendet.

Für die Länge der Taststrecke stehen verschiedene Einstellungen nach DIN 4768 [19] standardmäßig zur Verfügung. Bei der Größe der gelegten Füllungen erwies sich in dieser Studie eine Taststreckenlänge von 1,75 mm als günstig, da so gewährleistet wurde, dass die Gesamtmessstrecke innerhalb der Füllungsfläche lag. Dieser Einstellung ist eine Vorschubgeschwindigkeit von 0,1 mm/s und eine Grenzwellenlänge von 0,25 mm nach DIN 4768 [19] zugeordnet. Die Grenzwellenlänge legt fest, welche Profilunregelmäßigkeiten der Rauheit und welche der Welligkeit zugeordnet werden.

Jede Taststrecke wird in sieben gleiche Abschnitte unterteilt: eine Vorlaufstrecke, fünf Einzelmessstrecken und eine Nachlaufstrecke. Die fünf Einzelmessstrecken bilden die Gesamtmessstrecke, die zur Auswertung verwendet wird. Die Länge der Gesamtmessstrecke entspricht der Länge von fünf Grenzwellenlängen  $\lambda_C$  gemäß DIN 4768 [19].

Die profilometrische Untersuchung wurde zusammenfassend unter folgenden Messbedingungen durchgeführt:

- Vertikalbereich (VB):  $\pm 650 \mu\text{m}$
- Taststreckenlängen ( $L_T$ ): 1,75 mm
- Messstreckenlänge ( $L_M$ ): 1,25 mm
- Grenzwellenlänge ( $\lambda_C$ ): 0,25 mm
- Filter: LC

### 3.6.3 Durchführung der Messungen

Vor dem Start der Messungen wurden die Proben unter dem Mikrotaster so positioniert, dass die Hauptfissur im rechten Winkel zur Vorschubrichtung lag, um die Oberfläche in bukkolingualer Richtung abtasten zu können. Danach wurde der Taster so weit auf die zu messende Oberfläche abgesenkt, bis am Perthometer analog durch einen Balken und digital durch Ziffern der Taster-

nullpunkt angezeigt wurde. Im Anschluss daran liefen jeweils im Abstand von 0,2 mm parallel zueinander neun Messungen ab.

#### 3.6.4 Ermittelte Messgrößen

Bei der profilometrischen Untersuchung besteht die Möglichkeit, verschiedene Oberflächenkennwerte zu ermitteln. Bei den in der vorliegenden Studie ausgewählten Oberflächenkenngrößen handelte es sich um Rauigkeitswerte, die nach DIN 4768 spezifiziert sind [19]:

- Die maximale Rautiefe  $R_{\max}$ , d.h. die größte Einzelrautiefe innerhalb der Gesamtmessstrecke.
- Die gemittelte Rautiefe  $R_z$ , d.h. der Mittelwert aus den fünf aufeinander folgenden Einzelrautiefen.
- Der Mittenrauwert  $R_a$ , d.h. der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Profilwerte des Rauheitsprofils.

### 3.7 **Datenerfassung und -auswertung**

#### 3.7.1 Erfassung der Messergebnisse

Die Messdaten wurden vom Perthometer erfasst und zusammen mit dem Profilschrieb ausgedruckt. Aus den neun parallelen Messungen wurde der Medianwert bestimmt, der gegenüber dem Mittelwert den Vorteil hat, dass einzelne extrem große Messwerte, die aus herstellungsbedingten Oberflächenimperfektionen resultieren, nicht in die Berechnung der Oberflächenrauigkeiten eingehen.

### 3.7.2 Deskriptive Auswertung

Da jeder Bearbeitungsmethode 20 gefüllte Kavitäten zugeordnet waren, standen für jeden der drei Rauigkeitsparameter pro Bearbeitungsmethode 20 Medianwerte zur Verfügung, aus denen Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet wurden.

### 3.7.3 Prüfstatistische Auswertung

Der Vergleich der mit den einzelnen Bearbeitungsmethoden erzielten Rauigkeitsparameter erfolgte mit der einfachen Varianzanalyse mit Anschlussstest nach Scheffé. Die Wahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art „p“ entscheidet über eventuell vorhandene signifikante Unterschiede der einzelnen Bearbeitungsmethoden untereinander. Die aus den Paarvergleichen resultierenden Wahrscheinlichkeiten sind im Anhang dargestellt. Die prüfstatistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS für Windows (Version 9.0.1) vorgenommen.

## **3.8 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung**

### 3.8.1 Vorbereitung der Zähne

Vor Durchführung der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung mussten zunächst die Kunststoffsockel mitsamt Zahnwurzeln von den Probekörpern abgetrennt werden, um die Untersuchung durch die Probenhöhe nicht zu beeinträchtigen.

Um die elektrische Leitfähigkeit der Proben zu gewährleisten, wurden die gefüllten Zähne mit dem Spezialkleber Leit-C nach Göcke (Neubauer, Münster)

auf den Rastertellern befestigt und zum vollständigen Erhärten des Klebers für drei Tage bei 20°C im Trockenschrank aufbewahrt. Die Zähne wurden zudem in einer Besputterungsanlage (SCD 040, Balzers, Lichtenstein) mit einer ca. 30 nm dicken Goldschicht bedampft. Dabei wurden folgende Bedingungen eingehalten:

- Stromstärke: 16 mA
- Leerlaufspannung: 160 V
- Zeit: 3 min
- Druck: 0,1 mbar.

### 3.8.2 Rasterelektronenmikroskop PSEM 500

Die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von den Oberflächen der gefüllten Zähne wurden mit dem Rasterelektronenmikroskop PSEM 500 (Fa. Philipps, Eindhoven) angefertigt.

Mit Hilfe eines durchsichtigen Kunststoffrings, der auf den Probenschlitten aufgesetzt wurde, konnte man die Präparate so platzieren, dass die Oberkante des Kunststoffringes und die der Präparate auf gleicher Höhe endeten.

### 3.8.3 Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen

Von jedem Präparat wurden zwei Aufnahmen gemacht. Die erste Aufnahme, welche die komplette Zahnoberfläche in der Übersicht darstellen sollte, wurde bei 10-facher Monitorvergrößerung durchgeführt. Die zweite Aufnahme wurde als Detailaufnahme der zentralen Fissur bei 80-facher Vergrößerung angefertigt. Die Vergrößerung der Oberfläche bezog sich auf die digitale Anzeige des PSEM 500. Die tatsächliche Vergrößerung der hier gezeigten Aufnahmen ergab sich durch die Nachvergrößerung der rasterelektronenmikroskopischen

Negativfilme. Die Aufnahmen wurden mit dem Film TMX 120 (Kodak, Nürnberg) angefertigt.

Die Durchführung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen erfolgte mit folgenden Geräteeinstellungen:

- Spannung: 25 kV
- Emission: 2  $\mu$ A
- Blende: 400  $\mu$ m
- Spot-Size: 0,25  $\mu$ m
- Line Time: 16 ms
- Vergrößerung: 10- oder 80-fach

### 3.8.4 Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen

#### 3.8.4.1 Übersichtsaufnahmen

Bei allen Prüfkörpern wurde eine Übersichtsaufnahme in 10-facher Monitorvergrößerung angefertigt, die einerseits zur Beurteilung der Ausprägung der anatomischen Form der polierten Füllung und andererseits zur Evaluierung der Qualität der Füllungskonturen diente.

Wichtige Kriterien zur Beurteilung der anatomischen Form waren das Vorhandensein einer korrekten Höcker-Fissuren-Beziehung, die Präsenz und Ausprägung von Fissuren und Höckerabhängen sowie die Übergänge von Füllung zu Zahn.

Neben der anatomischen Form wurde in der Übersichtsaufnahme die Ausprägung der Füllungskonturen beurteilt, d.h. Formunregelmäßigkeiten und die Art der Übergänge nach durchgeführter Bearbeitung. Dabei erfolgte eine einmalige Bewertung der Gesamtoberfläche einer Füllung anhand eines der folgenden Beurteilungskriterien:

- Ü-A: Runde Übergänge, kaum Unregelmäßigkeiten erkennbar
- Ü-B: Einzelne kantige Übergänge, einzelne zerklüftete Bereiche
- Ü-C: Überwiegend kantige Übergänge, zahlreiche Unregelmäßigkeiten

Abbildung 15 zeigt als Beispiel für die qualitative Evaluierung der Füllungskonturen die Kaufläche eines Oberkiefermolaren nach Ausarbeitung und Politur der Kompositfüllung mittels Occlubrush bei 10-facher Vergrößerung. Insgesamt sind deutlich mehr kantige als glatte Übergänge sowie vereinzelt Stufenbildungen zu beobachten, vor allem zwischen der Hauptfissur und den Höckerabhängen. Die Bewertung dieser Oberfläche wäre deshalb nach Bewertungskriterium Ü-C (überwiegend kantige Übergänge, zahlreiche Unregelmäßigkeiten) erfolgt.

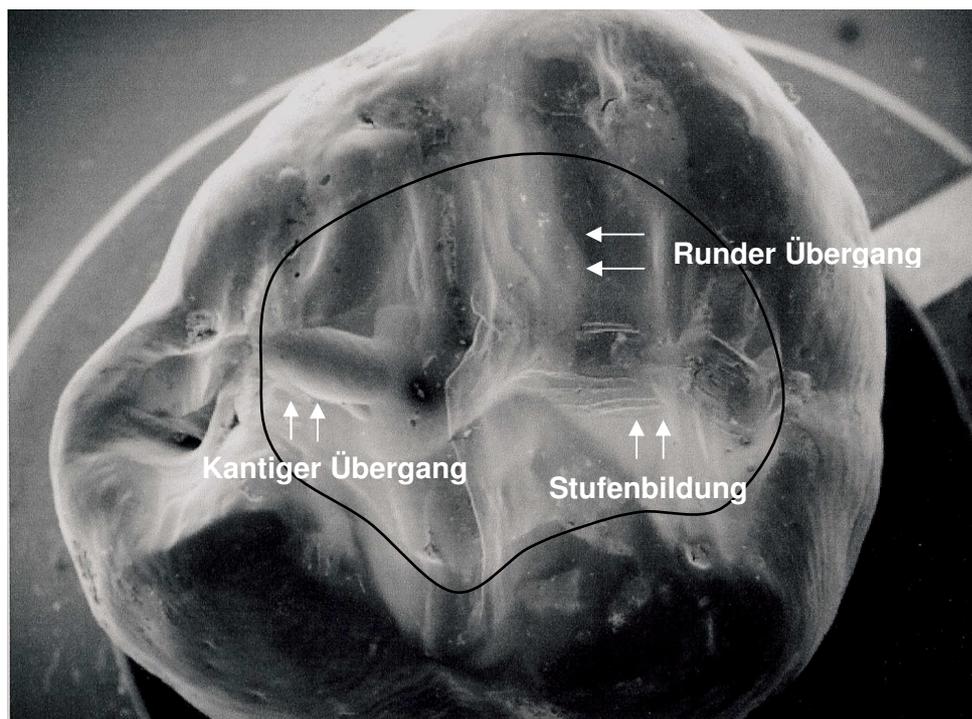


Abb. 15: REM-Übersichtsaufnahme einer mit Occlubrush polierten Füllungsoberfläche mit Beispielen für die Bewertung der Füllungskonturen (10-fache Monitorvergrößerung, Füllungsrand nachgezeichnet)

### 3.8.4.2 Detailaufnahmen

Mit Hilfe der Detailaufnahme der zentralen Fissur wurde bei 80-facher Monitorvergrößerung die Rauheit der polierten Füllung evaluiert. Durch Überlagerung mit einem Raster wurde jede Aufnahme in 20 rechteckige Felder aufgeteilt, die jeweils mit einem der folgenden Beurteilungskriterien bewertet wurden.

- F-A: Glatte, homogene Areale, keine Bearbeitungsspuren erkennbar
- F-B: Wenige oder gering ausgeprägte Riefen, einzelne Unregelmäßigkeiten
- F-C: Zahlreiche oder stark ausgeprägte Riefenbildung

Abb. 16 zeigt eine Detailaufnahme der Hauptfissur einer Füllungsoberfläche nach Ausarbeitung und Politur mittels Occlubrush bei 80-facher Vergrößerung und dient als Beispiel für die Beurteilung der Rauigkeit einer polierten Füllung. Man erkennt sowohl Areale, die als homogen und glatt imponieren (Kriterium F-A), als auch solche, die mittlere Rauigkeiten aufweisen (Kriterium F-B). Zusätzlich sind einzelne stark aufgeraute Bezirke zu beobachten (Kriterium F-C).

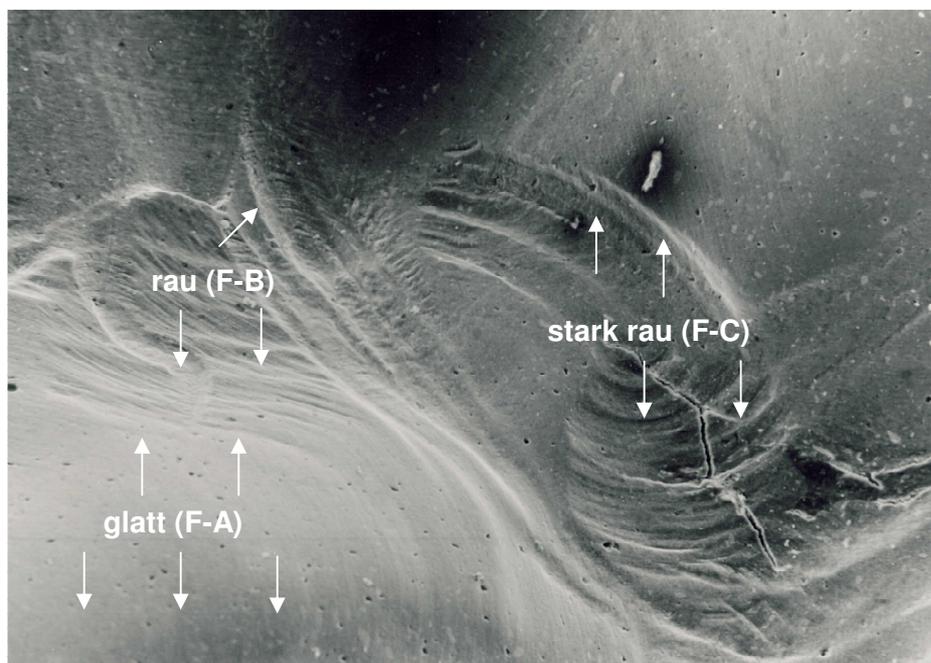


Abb. 16: REM-Detailaufnahme einer mit Occlubrush polierten Füllungs-  
oberfläche im Bereich der Hauptfissur mit Beispielen für die  
Bewertung der Rauigkeit (80-fache Monitorvergrößerung)

Durch Ermittlung der Anzahl der Einzelfelder, die einem bestimmten Merkmal zuzuordnen waren, konnte der prozentuale Anteil eines betreffenden Kriteriums an der Gesamtoberfläche angegeben werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der profilometrischen Untersuchung

Für alle drei im Rahmen der profilometrischen Untersuchung bestimmten Messgrößen  $R_{\max}$ ,  $R_z$  und  $R_a$  konnten tendenziell dieselben Ergebnisse gewonnen werden: die Rauigkeitswerte waren bei Verwendung der Diafix-Polierer stets am größten, gefolgt von den Poliersystemen Occlubrush und Sof-Lex. Im Vergleich dazu ließen Composite-Polierer die geringste Oberflächenrauigkeit zurück.

Im Einzelnen betrug die maximale Rautiefe  $R_{\max}$  nach Politur mit Diafix 23,9  $\mu\text{m}$ , mit Occlubrush 20,7  $\mu\text{m}$ , mit Sof-Lex 17,8  $\mu\text{m}$  und mit Composite 12,4  $\mu\text{m}$ . Statistisch signifikante Gruppenunterschiede bestanden zwischen Composite und Diafix ( $p < 0,001$ ) sowie zwischen Composite und Occlubrush ( $p = 0,011$ ) (Abb. 17).

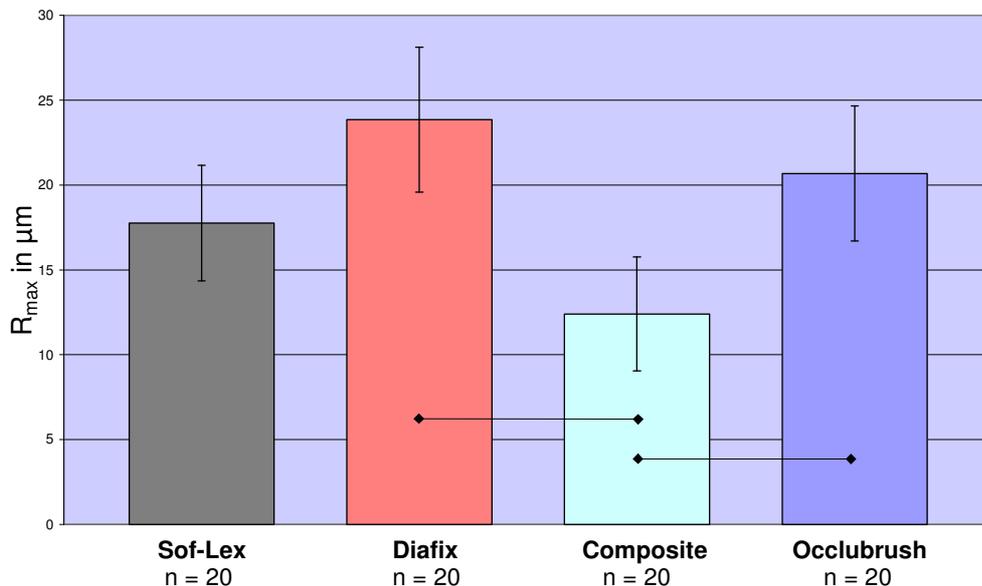


Abb. 17: Maximale Rautiefe (MW  $\pm$  SD) von Kompositfüllungsoberflächen nach unterschiedlicher Ausarbeitung und Politur. Die horizontalen Balken kennzeichnen signifikante Unterschiede.

Die Ergebnisse für die „gemittelte Rautiefe“  $R_z$  betragen 10,2  $\mu\text{m}$  (Diafix), 9,6  $\mu\text{m}$  (Occlubrush), 8,6  $\mu\text{m}$  (Sof-Lex) und 6,9  $\mu\text{m}$  (Composite). Statistisch signifikante Gruppenunterschiede konnten zwischen Composite und Diafix ( $p < 0,001$ ), Composite und Sof-Lex ( $p = 0,029$ ) sowie Composite und Occlubrush ( $p = 0,001$ ) nachgewiesen werden (Abb. 18).

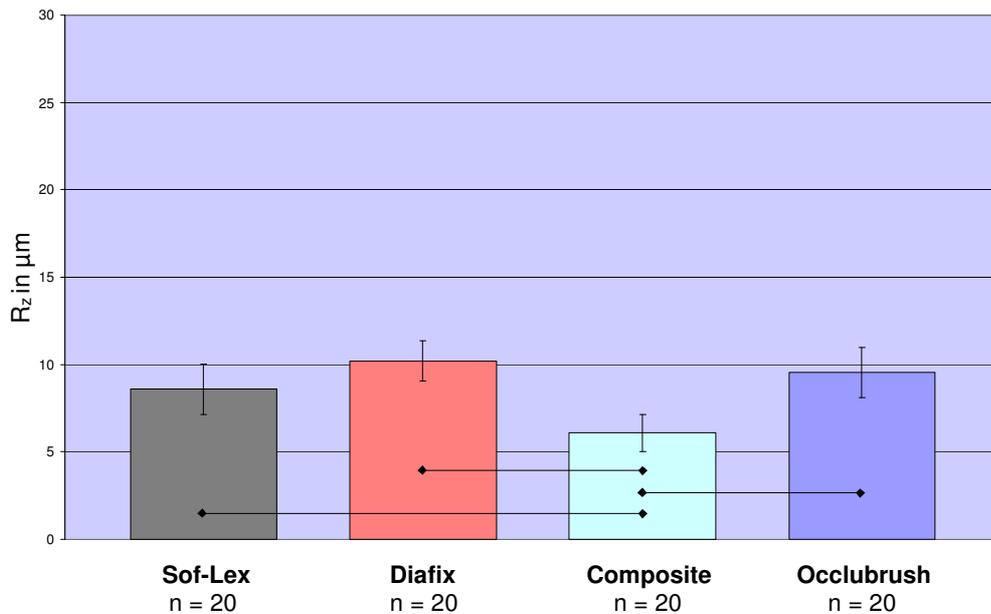


Abb. 18: Gemittelte Rautiefe (MW  $\pm$  SD) von Kompositfüllungsflächen nach unterschiedlicher Ausarbeitung und Politur; die horizontalen Balken kennzeichnen signifikante Unterschiede

Bei der Bestimmung der Messgröße „arithmetischer Mittenrauwert“  $R_a$  entfiel der mit 2,4  $\mu\text{m}$  höchste Wert wiederum auf die Diafix-Polierer, gefolgt von 2,2  $\mu\text{m}$  beim Occlubrush- und 2,0  $\mu\text{m}$  beim Sof-Lex-Verfahren. Wie auch bereits bei den anderen Messgrößen schnitt der Composite-Polierer mit einem arithmetischen Mittenrauwert von 1,6  $\mu\text{m}$  am besten ab. Als statistisch signifikant erwiesen sich die Gruppenunterschiede zwischen Composite und Diafix ( $p < 0,001$ ) sowie zwischen Composite und Occlubrush ( $p = 0,004$ ) (Abb. 19).

Der tabellarische Anhang gibt eine Übersicht über die Messergebnisse, die bei den insgesamt 80 Probekörpern aus den verschiedenen Untersuchungsgruppen erzielt wurden. Zudem werden die Resultate des statistischen Gruppenvergleichs zusammengefasst.

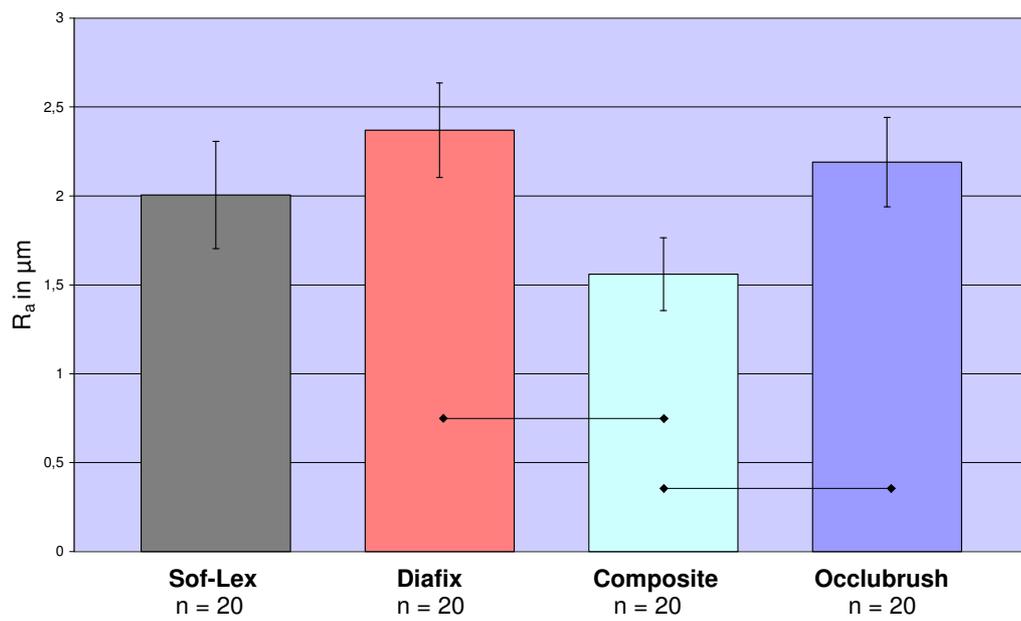


Abb. 19: Mittenrauwert (MW  $\pm$  SD) von Kompositfüllungsoberflächen nach unterschiedlicher Ausarbeitung und Politur. Die horizontalen Balken kennzeichnen signifikante Unterschiede.

## 4.2 Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung

### 4.2.1 Politur mit Sof-Lex-Disks

#### 4.2.1.1 Anatomische Form

In Abb. 20 wird beispielhaft eine REM-Aufnahme der Gesamtoberfläche eines gefüllten Unterkiefermolaren nach Politur durch drei unterschiedlich gekörnte Sof-Lex-Disks dargestellt. Die Füllungsoberfläche erschien homogen und intakt. Besonders glatt wirkten die konvexen Füllungsareale, die praktisch keinerlei Rautiefen aufwiesen. In den konkaven Arealen, d.h. in den Tiefen der Fissuren, waren jedoch deutliche Rillen und Stufen zu erkennen. Die Morphologie der Füllung stellte sich insgesamt deutlich abgeflacht dar, wobei zwar eine Hauptfissur, aber keine Parafissuren vorhanden waren. Vor allem die Höckerabhänge und Höckerspitzen erschienen deutlich abgetragen. Da der Füllungsrand in der REM-Aufnahme nicht mehr erkennbar war, kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch die Zahnschmelzareale im Bereich des Füllungsrandes mit abgetragen wurden.

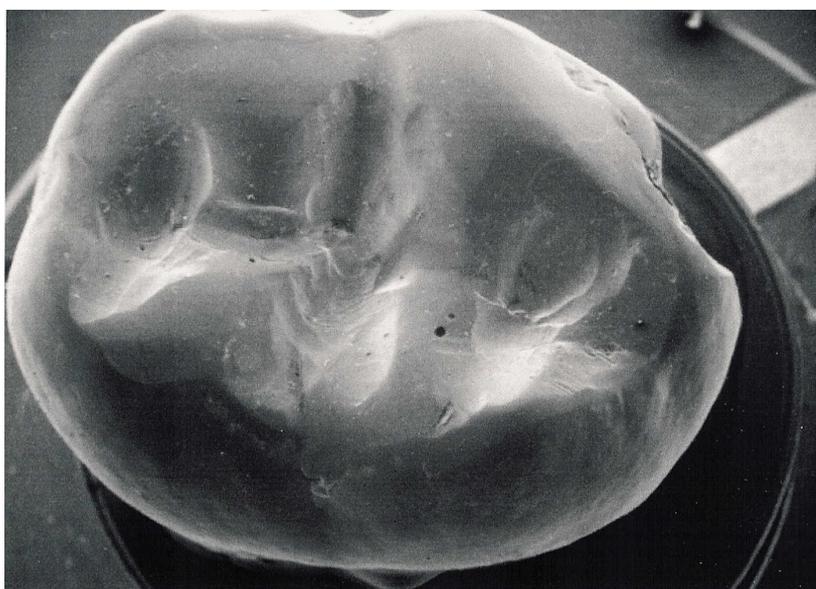


Abb. 20: REM-Aufnahme einer Füllungsoberfläche nach Politur mit Sof-Lex-Disks (10-fache Monitorvergrößerung). Die Fissurenmorphologie ist erhalten, während die Höckerabhänge abgeflacht sind.

#### 4.2.1.2 Konturierung der Oberflächen

Die Beurteilung der Konturen der 20 Füllungsoberflächen ergab in 15% der Fälle runde Übergänge mit kaum erkennbaren Unregelmäßigkeiten. 65% der Füllungsoberflächen wiesen einzelne kantige Übergänge oder einzelne zerklüftete Bereiche auf, 20% hatten überwiegend kantige Übergänge bzw. zahlreiche Unregelmäßigkeiten (Abb. 21). Die kantigen Übergänge waren vor allem bei Zähnen mit tiefer Hauptfissur erkennbar.

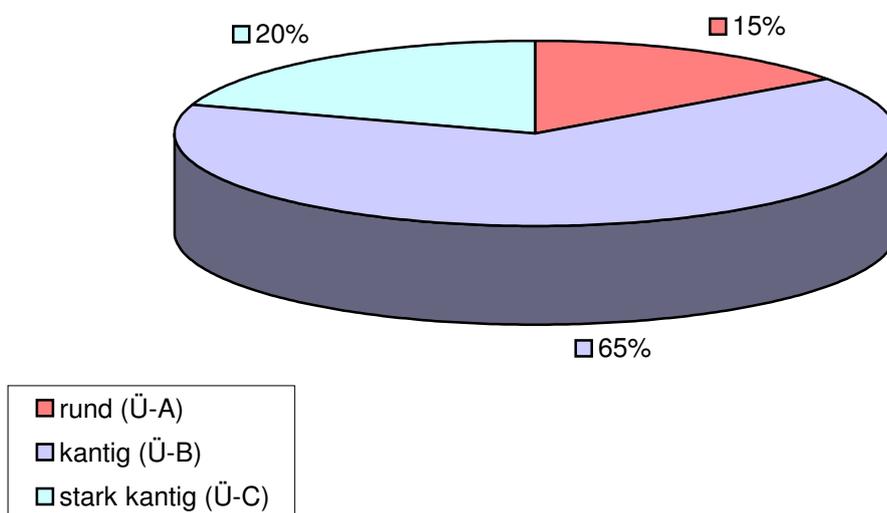


Abb. 21: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Konturierung bei Füllungsoberflächen nach Politur mit Sof-Lex-Disks (n = 20)

#### 4.2.1.3 Rauigkeit der Oberflächen

Bei der Beurteilung der Rauigkeit im Bereich der Hauptfissur erschien ein großer Teil des Oberflächenbereiches glatt poliert. Lediglich in der Fissurenmitte waren mittlere oder starke Rautiefen festzustellen. So wiesen bei 80-facher Vergrößerung 61% der Flächen nur geringe Rautiefen, 25% mittlere Rautiefen und 14% starke Rautiefen auf (Abb. 22).

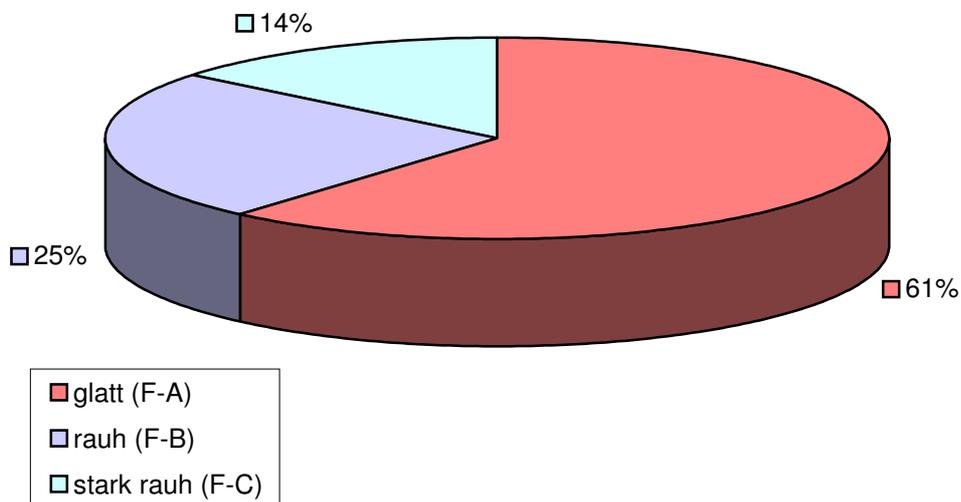


Abb. 22: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Rauigkeiten der Füllungsflächen nach Politur mit Sof-Lex-Disks (n = 20)

## 4.2.2 Politur mit Diafix-oral-Polierern

### 4.2.2.1 Anatomische Form

Abb. 23 zeigt exemplarisch die Übersichtsaufnahme eines gefüllten Oberkiefermolaren nach Politur mit einem Diafix-oral-Filzpolierer. Die Füllungsmorphologie wurde durch die Politur nicht verändert. Die Höcker-Fissuren-Beziehung erschien korrekt dargestellt, die Hauptfissur und einzelne angedeutete Parafissuren waren deutlich erkennbar. Jedoch waren vor allem in der Tiefe der Hauptfissur einige unpolierte und raue Bereiche sichtbar, vielfach waren Bearbeitungsspuren der Diamant- bzw. Hartmetallfinierer zu erkennen.



Abb. 23: REM-Aufnahme einer Füllungsoberfläche nach Politur mit Diafix-oral-Polierern (10-fache Monitorvergrößerung). Das Höcker-Fissuren-Relief erscheint gut erhalten, jedoch sind vor allem in der Tiefe der Hauptfissur Rauigkeiten zu beobachten (durch Pfeile gekennzeichnet).

#### 4.2.2.2 Konturierung der Oberflächen

Bei der Betrachtung der Konturen in der Übersichtsaufnahme waren die untersuchten Oberflächen sehr unterschiedlich einzustufen. Runde Übergänge und kaum Unregelmäßigkeiten waren bei 25% der Oberflächen zu beobachten. 60% wiesen im Fissurenbereich einzelne kantige Übergänge und zerklüftete Bereiche auf. Bei 15% der Oberflächen, vor allem bei jenen mit stärker ausgeprägtem Höcker-Fissuren-Relief, lagen zahlreiche Unregelmäßigkeiten bzw. überwiegend kantige Übergänge vor (Abb. 24).

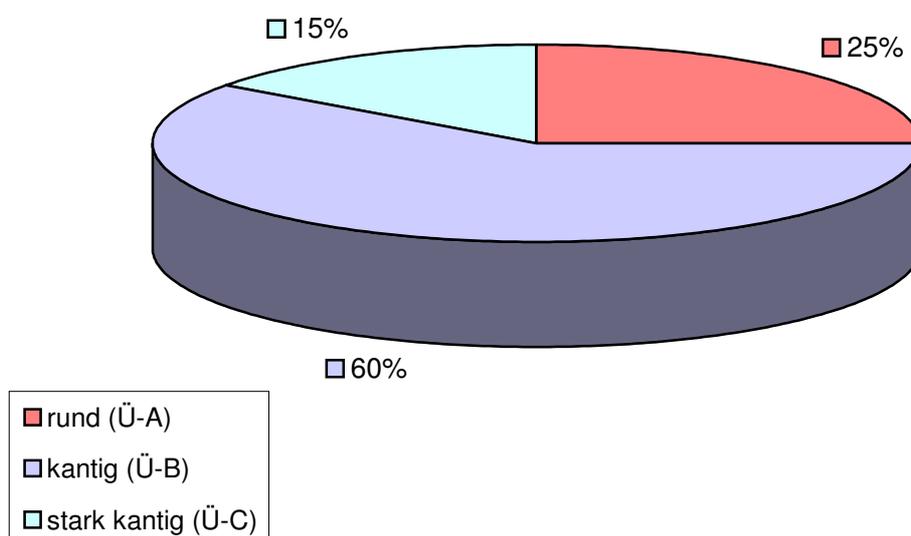


Abb. 24: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Konturierung bei Füllungsflächen nach Politur mit Diafix-oral-Polierern (n = 20)

#### 4.2.2.3 Rauigkeit der Oberflächen

Die Evaluierung der Oberflächenrauigkeiten bei 80-facher Vergrößerung nach Anwendung des Diafix-oral-Filzpolierers zeigte folgende Verteilung der Beurteilungskriterien: Etwa die Hälfte (51%) der Fissurenareale waren glatt und homogen und zeigten keine Bearbeitungsspuren. Knapp ein Drittel (31%) hatte wenige oder gering ausgeprägte Riefen bzw. einzelne Unregelmäßigkeiten, während bei 18% der beurteilten Fissurenareale eine stark ausgeprägte Riefenbildung zu beobachten war (Abb. 25). Generell waren die stärksten Rauigkeiten in der Fissurenmitte anzutreffen, wogegen die angrenzenden Höckerabhänge besser poliert waren und somit geringere Rauigkeiten aufwiesen.

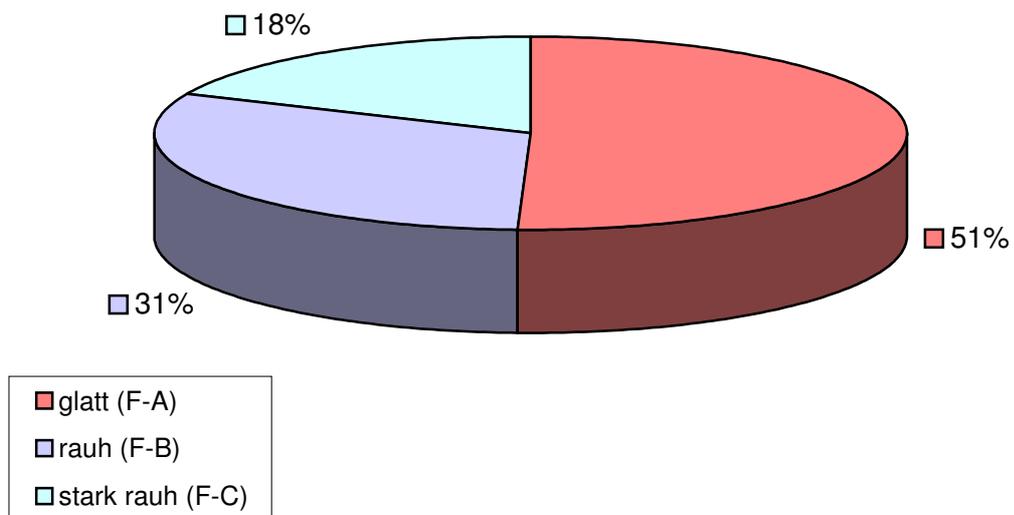


Abb. 25: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Rauigkeiten der FüllungsOberflächen nach Politur mit Diafix-oral-Polierern (n = 20)

### 4.2.3 Politur mit Composite-Polierern

#### 4.2.3.1 Anatomische Form

Abb. 26 stellt beispielhaft eine REM-Aufnahme eines gefüllten Oberkiefermolaren nach Politur mit den zweistufigen Composite-Polierern dar. Die Füllungsmorphologie war hier deutlich verändert und ergab das Gesamtbild einer muldenförmigen Kaufläche ohne ausgeprägtes Höcker-Fissuren-Relief. Die Hauptfissur war zwar noch erhalten, die Höckerabhänge dagegen aber teilweise deutlich abgetragen. Nahezu alle Bereiche der Füllung wirkten bis in die Tiefe der Fissur hinein glatt poliert.

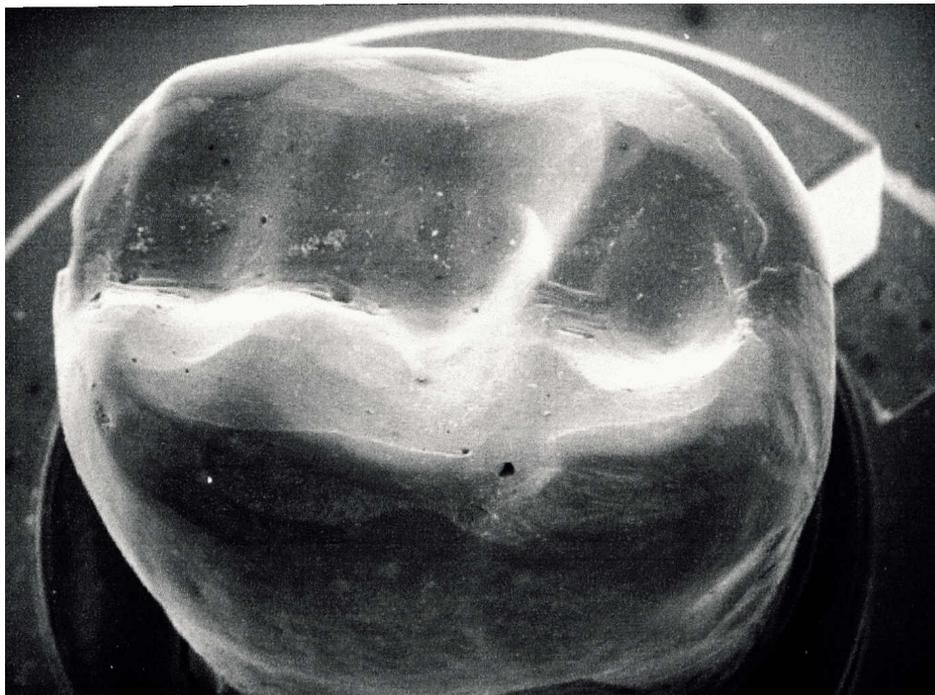


Abb. 26: REM-Aufnahme einer Füllungs- und Kaufläche nach Politur mit Composite-Polierern (10-fache Monitorvergrößerung). Das Höcker-Fissuren-Relief ist zu einem großen Teil eingeebnet.

#### 4.2.3.2 Konturierung der Oberflächen

80% der mit Composite bearbeiteten Oberflächen hatten runde Übergänge, Unregelmäßigkeiten waren kaum erkennbar. Bei 20% der Oberflächen waren einzelne kantige Übergänge in der Fissurenmitte zu beobachten, überwiegend kantige Übergänge gab es bei diesem Bearbeitungsverfahren dagegen nicht (Abb. 27).

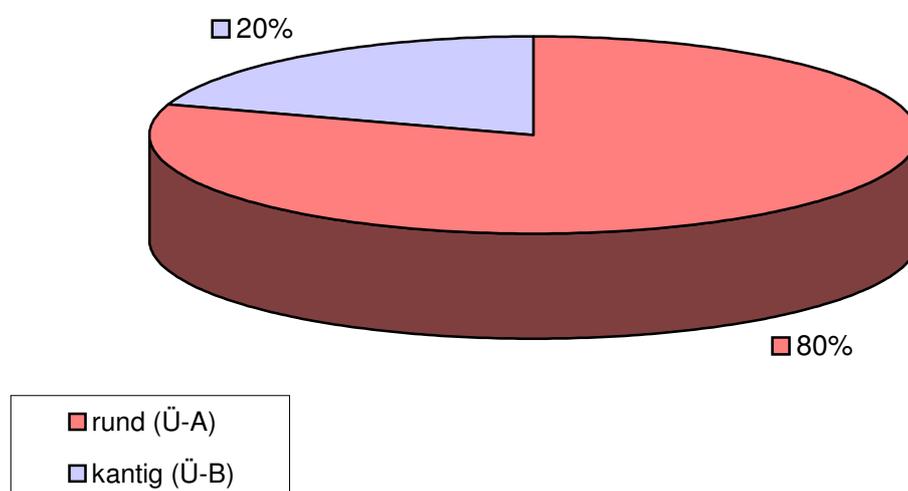


Abb. 27: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Konturierung bei Füllungsoberflächen nach Politur mit Composite-Polierern (n = 20)

#### 4.2.3.3 Rauigkeit der Oberflächen

Die insgesamt glatt erscheinende Oberfläche nach Anwendung der zweistufigen Composite-Polierer bestätigte sich auch bei der Beurteilung der Fissur bei 80-facher Vergrößerung. So waren 73% der Fissurenareale glatt oder mit geringen Rauigkeiten versehen, 21% zeigten wenige oder gering ausgeprägte Riefen und nur bei 6% der Fissurenflächen waren starke Rauigkeiten zu beobachten (Abb. 28). Hinsichtlich der Lokalisation der Riefen war festzustellen, dass lediglich einige Bereiche der zentralen Fissurenmitte mit stärkeren Rauigkeiten versehen waren.

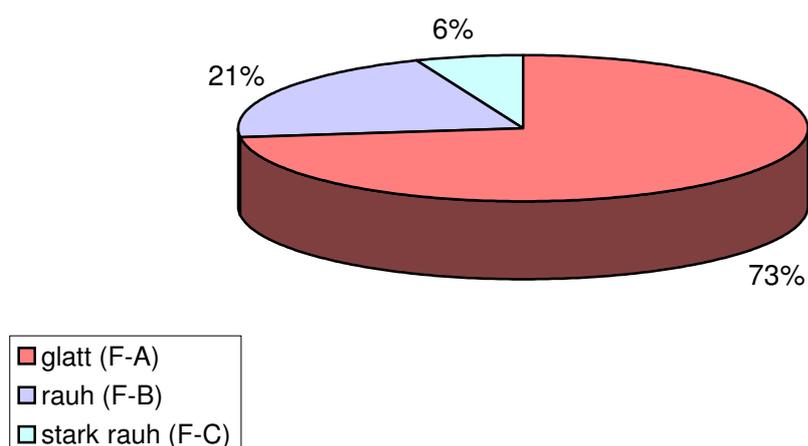


Abb. 28: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Rauigkeiten der Füllungsoberflächen nach Politur mit Composite-Polierern (n = 20)

#### 4.2.4 Politur mit einer Occlubrush-Polierbürste

##### 4.2.4.1 Anatomische Form

Abb. 29 zeigt beispielhaft die Übersichtsaufnahme eines gefüllten Unterkiefermolaren nach Politur mit einer Occlubrush-Polierbürste. An der deutlichen Rillenbildung im Füllungsrandbereich war die destruktive Wirkung des bei der Ausarbeitung verwendeten Diamantfinierers zu erkennen. Das Höcker-Fissuren-Relief erwies sich als ausgeprägt und blieb auch nach der Politur erhalten. Ebenso waren partiell Parafissuren vorhanden. Insgesamt wurde die Füllungsmorphologie durch die Bearbeitung also nicht wesentlich verändert, jedoch waren innerhalb des Reliefs auch deutliche Kanten und stufige Übergänge sichtbar.

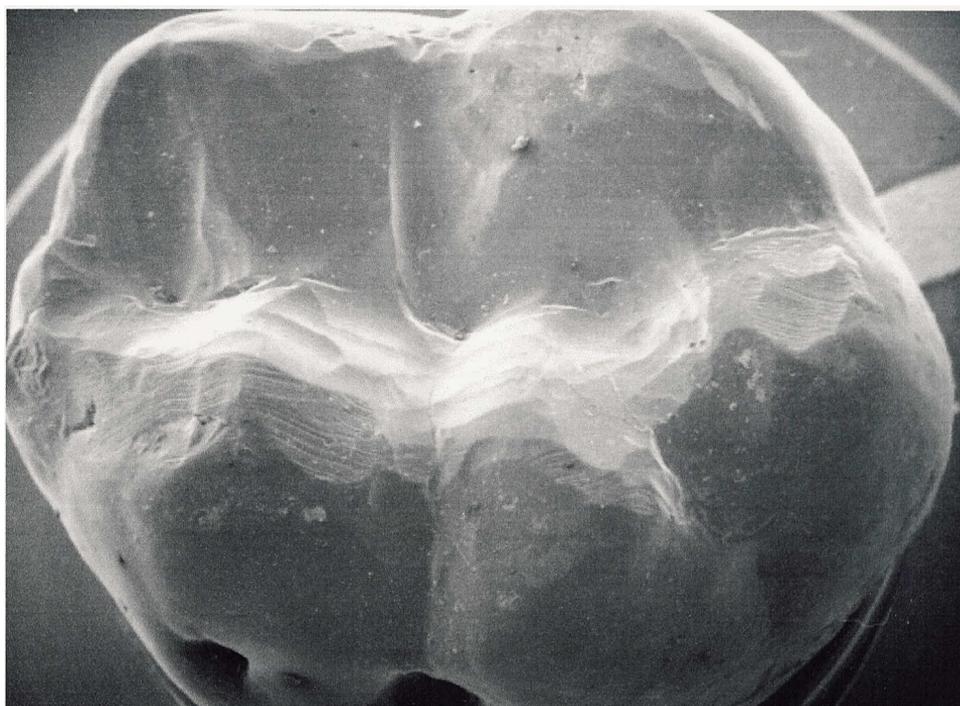


Abb. 29: REM-Aufnahme einer Füllungsoberfläche nach Politur mit einem Occlubrush-Bürstchen (10-fache Monitorvergrößerung). Das Höcker-Fissuren-Relief ist gut erhalten. Die Pfeile markieren durch die Verwendung von Diamantfinierern destruierte Schmelzareale.

#### 4.2.4.2 Konturierung der Oberflächen

Bei der Beurteilung der Konturierung von mit Occlubrush-Bürstchen polierten Füllungsoberflächen zeigten 30% runde Übergänge ohne Kanten oder Stufen. In 40% der Fälle waren einzelne kantige Übergänge und zerklüftete Bereiche zu erkennen, bei weiteren 30% der Füllungsoberflächen fanden sich überwiegend kantige Übergänge (Abb. 30). In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass die Zuordnung zur Kategorie Ü-C nicht aufgrund eines destruierten Oberflächenreliefs, sondern ausschließlich wegen der ausgeprägten Kanten und Stufen erfolgte. Auch zeigten sich Spuren der Vorbehandlung, die durch die Politur nicht vollständig beseitigt wurden.

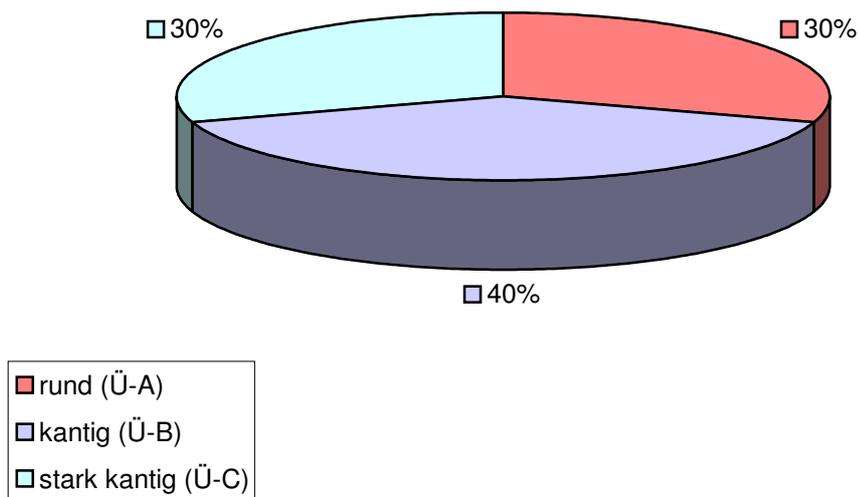


Abb. 30: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Konturierung bei Füllungsoberflächen nach Politur mit dem Occlubrush-Bürstchen (n = 20)

#### 4.2.4.3 Rauigkeiten der Oberflächen

Bei der Bewertung der Oberflächenrauigkeit nach Anwendung des Occlubrush-Polierbürstchens zeigte sich, dass viele Fissurenareale nur geringe Rauigkeiten aufwiesen. Bei Betrachtung der Fissur bei 80-facher Vergrößerung erschienen 81% der Oberflächenareale glatt und homogen, 16% hatten wenige oder gering ausgeprägte Riefen und 3% wiesen eine stark ausgeprägte Riefenbildung auf (Abb. 31).

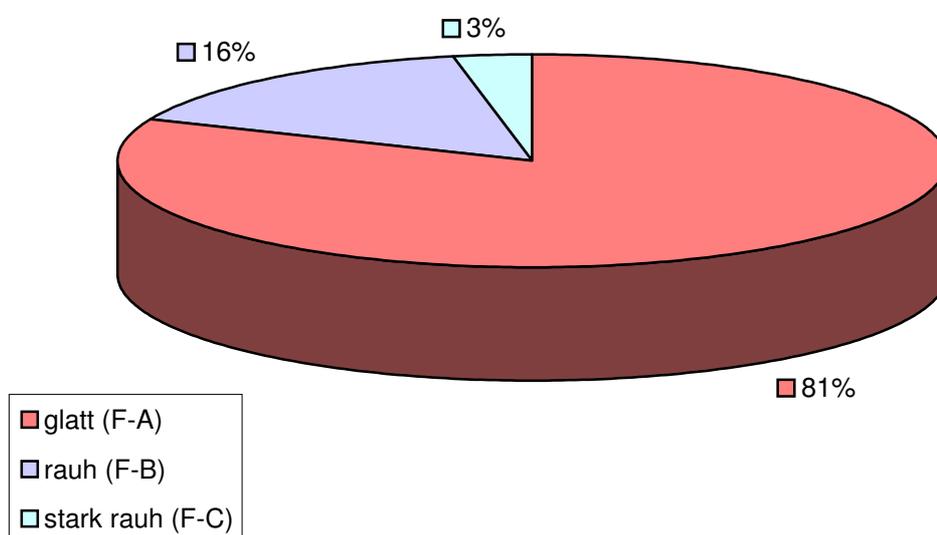


Abb. 31: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Rauigkeiten der Füllungsoberflächen nach Politur mit dem Occlubrush-Bürstchen (n = 20)

#### 4.2.5 Vergleich der vier Bearbeitungsmethoden

##### 4.2.5.1 Anatomische Form

In Hinblick auf die anatomische Form der Füllungsoberflächen brachte die Auswertung der REM-Übersichtsaufnahmen bei Verwendung von Diafix-oral-Polierern und Occlubrush-Bürsten prinzipiell ähnliche Ergebnisse. Die Höcker-Fissuren-Beziehung blieb weitgehend erhalten, sowohl die Hauptfissur als auch die verschiedenen Parafissuren waren erkennbar. Bei allen Oberflächen dieser beiden Methoden ließen sich jedoch auch deutliche Spuren der Vorbehandlung durch Diamantfinierer beobachten, die in Form von Rillen in den Fissurentiefen sowie auch teilweise am Übergang zwischen Füllung und Zahn in Erscheinung traten und von den zur Politur verwendeten Verfahren nicht beseitigt werden konnten.

Bei der Politur mit Sof-Lex-Disks zeigte sich im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsmethoden ein abweichendes Bild. Die Füllungsmorphologie erschien durch die abgeflachten Höckerabhänge verändert. Die Hauptfissur war erkennbar, Parafissuren konnten aber nicht beobachtet werden. In der Tiefe der Fissur zeigten sich wie bei der Politur mit dem Diafix-oral-Polierer und dem Occlubrush-Bürstchen Rillen und kantige Stufen.

Die mit Composite polierten Füllungsoberflächen wiesen im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsmethoden besonders deutlich veränderte Oberflächenmerkmale auf. So wirkte die Füllungsoberfläche auch bis in die Tiefe der Fissur hinein sehr glatt, allerdings wurde durch die Politur auch das Oberflächenrelief merklich verändert. Parafissuren waren nicht mehr vorhanden und die Höckerabhänge erschienen abgetragen, so dass die Oberfläche insgesamt eher mulden- bzw. wannenförmig wirkte.

#### 4.2.5.2 Konturierung der Oberflächen

Bei der Bewertung der Oberflächenkonturierung wurde der größte Anteil an runden Übergängen innerhalb des Höcker-Fissuren-Reliefs der Füllungen nach Anwendung der Composite-Polierer festgestellt (80%). Stark kantige Areale waren nicht vorhanden, lediglich bei 20% der Oberflächen fanden sich einzelne zerklüftete Bereiche.

Den größten Anteil einzelner kantiger Übergänge erzielte die Politur mit Sof-Lex-Disks (65%) und dem Diafix-System (60%). Sowohl runde Übergänge als auch starke kantige Areale waren bei 15-25% der Oberflächen festzustellen.

Die Bearbeitung der Füllungsoberfläche mit der Occlubrush-Polierbürste dagegen verursachte mit 30% den größten Anteil stark kantiger Areale (Abb. 32).

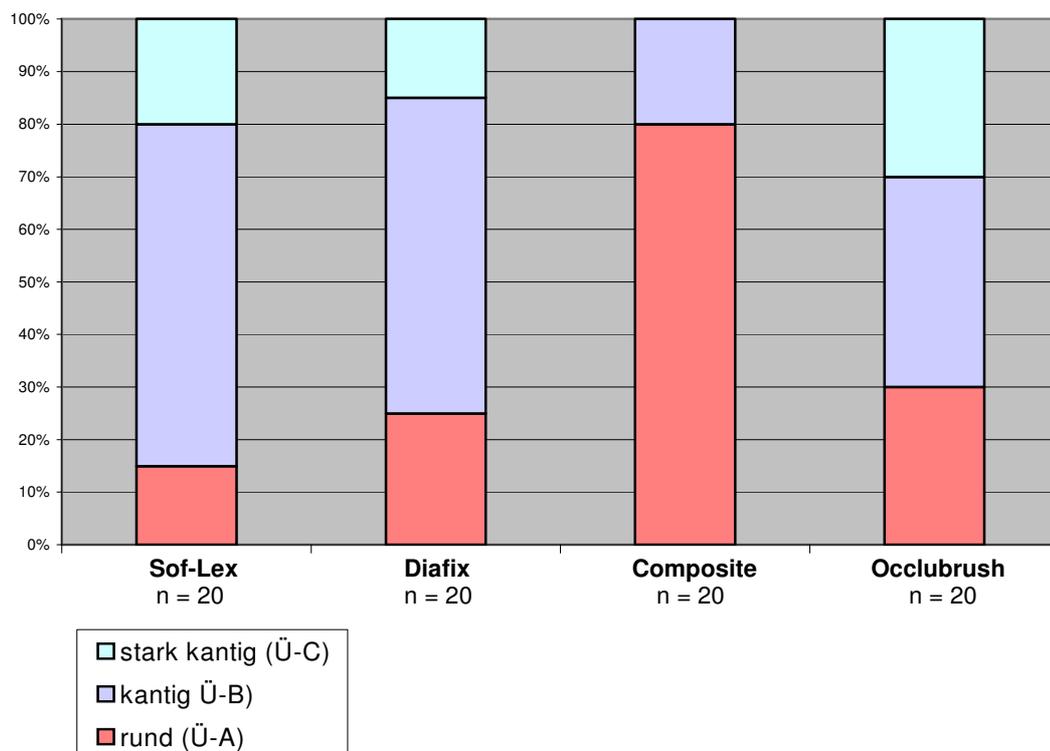


Abb. 32: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Konturierung bei Füllungsoberflächen im Vergleich der vier Bearbeitungsmethoden

#### 4.2.5.3 Rauigkeit der Oberflächen

Beim Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Bearbeitungsverfahren in Hinblick auf die Oberflächenrauigkeiten fiel auf, dass die mit Sof-Lex-Disks und mit Diafix-oral-Polierern bearbeiteten Oberflächen einen höheren Anteil gering oder stark ausgeprägter Riefen nach den Kriterien F-B und F-C aufwiesen, als wenn eine Politur mit Composite-Polierern und Occlubrush-Bürsten erfolgte. Bei dem Kriterium F-A verhielt es sich genau umgekehrt.

Bei der Verwendung von Diafix-oral-Polierern zeigten nur 51% der Oberflächen überwiegend glatte, homogene Areale nach Kriterium F-A, während die entsprechenden Anteile bei den anderen Bearbeitungsmethoden 61% (Sof-Lex-Disks), 73% (Composite-Polierer) und 81% (Occlubrush-Bürste) betragen.

Bei der Verteilung des Kriteriums F-B („wenige oder gering ausgeprägte Riefen, einzelne Unregelmäßigkeiten“) erhielt die Bearbeitung mit Diafix-oral-Polierern mit 31% die meisten Anteile, gefolgt von Sof-Lex-Disks mit 25%, Composite-Polierern mit 21% und Occlubrush-Bürstchen mit 16%.

Auch bei der Betrachtung der Ergebnisse für das Kriterium F-C („zahlreiche oder stark ausgeprägte Riefenbildung“) war der Anteil bei der Verwendung von Diafix-oral-Polierern mit 18% am höchsten. Die Vergleichswerte betragen 14% für die Sof-Lex-Polierer, 6% für die Composite-Polierer und 3% für die Occlubrush-Bürste.

Zusammenfassend erhielt das Occlubrush-Verfahren von allen vier Methoden die meisten Anteile des Kriteriums F-A und die wenigsten Bewertungen nach den Kriterien F-B und F-C. Bei Bearbeitung der Füllungsoberflächen mit Diafix-oral-Polierern war es umgekehrt (Abb. 33).

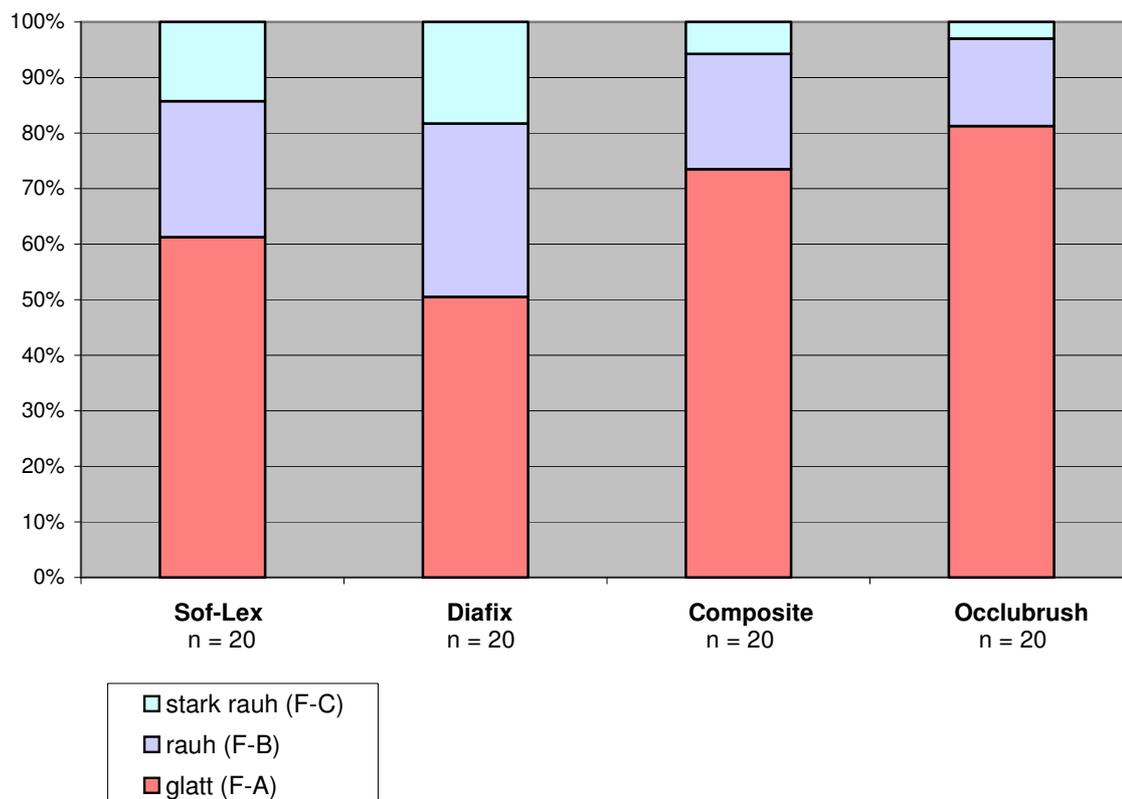


Abb. 33: Prozentuale Verteilung der Beurteilungskriterien für die Rauigkeiten der Füllungsoberflächen im Vergleich der vier Bearbeitungsmethoden

## **5 Diskussion**

### **5.1 Diskussion der angewandten Methoden zur Oberflächen- evaluierung**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde bei allen untersuchten Kompositfüllungen durch Überschussbeseitigung, Konturierung und Finieren mit Diamant- und Hartmetallfinierern eine vergleichbare Ausgangsoberfläche für die folgende Politur geschaffen. Aufgabe der Politurmethode war es nun, eine weitergehende Glättung mit größtmöglicher Reduktion von Rauigkeiten zu erreichen, kantige Übergänge zu beseitigen und dabei dennoch das Höcker-Fissuren-Relief zu erhalten.

Mit der profilometrischen und der rasterelektronenmikroskopischen Methode wurden zwei verschiedene Verfahren zur Beurteilung von Oberflächen benutzt. Bevor auf die Aussagekraft beider Methoden ausführlicher eingegangen wird, sollen die Kriterien angeführt werden, die für eine Oberflächenbeurteilung relevant sind:

1. Keine Beschädigung des Präparats durch die Untersuchung
2. Eine flächenhafte Erfassung der Oberfläche
3. Ein geringer apparativer Aufwand
4. Adäquate Genauigkeit der Messvorrichtung
5. Eine einfache Auswertung der Ergebnisse
6. Das Ermitteln verschiedener Oberflächenparameter
7. Quantifizier- und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Eine gleichzeitige Erfüllung aller Kriterien ist nicht möglich, da sich z.B. eine einfache Auswertung der Ergebnisse und die Forderung nach verschiedenen

Parametern und ausreichender Genauigkeit nur schwer vereinbaren lassen. Auch eine hohe Genauigkeit kann nur mit einem entsprechend großen apparativen Aufwand erzielt werden. Aus diesem Grund müssen die o.g. Forderungen im Hinblick auf die jeweiligen Fragestellungen modifiziert werden.

### 5.1.1 Profilometrische Untersuchungen

Im Rahmen der profilometrischen Untersuchung wurden die maximale Rautiefe  $R_{\max}$ , die gemittelte Rautiefe  $R_z$  und der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  bestimmt. Obwohl mit allen drei Messgrößen tendenziell dieselben Ergebnisse gewonnen werden konnten, sind bei der Interpretation der einzelnen Messparameter folgende Aspekte zu beachten:

Die maximale Rautiefe ist zur alleinigen Oberflächenbeurteilung nur mit Einschränkung geeignet, da sie sich lediglich auf die größte Einzelrautiefe innerhalb der Messstrecke bezieht. Die Rautiefenstruktur der restlichen Messstrecke bleibt dagegen unberücksichtigt. Fehlinterpretationen aufgrund von material- oder herstellungsbedingten Porositäten mit extrem großer Profiltiefe sind demnach nicht auszuschließen. In Kombination mit anderen Messgrößen ist die Ermittlung der maximalen Rautiefe jedoch insofern sinnvoll, als die relative Abnahme von maximaler zu gemittelter Rautiefe ein Maß für die Homogenität der Oberfläche darstellt.

Die gemittelte Rautiefe bestimmt jeweils die maximale Rautiefe in fünf Teilmessstrecken und ist deshalb wesentlich besser zur Oberflächenbeurteilung geeignet, da das Risiko von Fehlinterpretationen geringer ist. Allerdings bleibt bei der gemittelten Rautiefe das restliche Rautiefenprofil der Messstrecke ebenfalls unberücksichtigt. Insgesamt stellt die gemittelte Rautiefe jedoch eine anschauliche Messgröße dar, da die Angabe in  $\mu\text{m}$  einen Eindruck davon vermittelt, in welcher Größenordnung die Rautiefen tatsächlich liegen.

Der arithmetische Mittenrauwert, der in nahezu allen Rauigkeitsstudien bestimmt wird, berücksichtigt sämtliche Profilwerte des Rauheitsprofils. Ein Nachteil dieser Messgröße ist ihre Abstraktheit, da die Ergebnisse keinen Hinweis darauf geben, welche Rautiefen im Profil tatsächlich zu finden waren.

Eine interessante alternative Oberflächenkenngröße ist das Profil-Längen-Verhältnis. Dabei handelt es sich um eine horizontale Oberflächenkenngröße, bei der die Länge des Profils zur Länge der Messstrecke ins Verhältnis gesetzt wird. Der Idealwert dieser Kenngröße beträgt 1. In der vorliegenden Studie wurde das Profil-Längen-Verhältnis nicht eingesetzt, da aufgrund der strukturierten Oberfläche am Profilometer ein großer Vertikalbereich bei gleichzeitig kurzer Taststrecke eingestellt werden musste und das Profil-Längen-Verhältnis unter diesen Messbedingungen nicht bestimmt werden konnte.

Festzuhalten ist, dass eine Messgröße allein für eine ausreichende und anschauliche profilometrische Oberflächenbeurteilung nicht ausreicht, weshalb immer mehrere Messgrößen herangezogen werden sollten, die Horizontal- und Vertikalkenngrößen beinhalten. Es ist jedoch mindestens die Bestimmung der gemittelten Rautiefe und des arithmetischen Mittenrauwertes zu fordern.

Profilometrische Untersuchungen ermöglichen insgesamt quantifizierbare Ergebnisse und erlauben eine umfangreiche Auswertung nach verschiedenen Kenngrößen, so dass auf diese Weise auch unterschiedliche Studien miteinander verglichen werden können. Eine ausreichende Genauigkeit sollte durch die Verwendung von adäquaten optischen oder mechanischen Mikrotastern erzielt werden, wobei der Profilometer durch die Wahlmöglichkeit verschiedener Messbedingungen auf unterschiedliche Prüfoberflächen eingestellt werden kann.

Nachteilig wirkt sich in erster Linie die fehlende flächenmäßige Erfassung der Oberfläche aus, jedoch kann näherungsweise durch mehrere parallele Messungen eine flächenmäßige Darstellung versucht werden. Profilometrische Un-

tersuchungen im Rahmen von In-vivo-Studien sind nur über den Umweg der Replika-Technik möglich. Zudem ist die Durchführung einer profilometrischen Untersuchung bei strukturierten Oberflächen schwierig. Mangelhaft ist die Erfassung von Unregelmäßigkeiten 1. und 2. Ordnung, wie z. B. von Kanten und Formen.

### 5.1.2 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

REM-Aufnahmen eignen sich zur qualitativen Beurteilung von Oberflächen, wobei durch die entsprechende Wahl der Vergrößerung die Oberfläche insgesamt oder einzelne Areale betrachtet werden können. In Detailaufnahmen kann die Feinstruktur der Füllungsoberflächen beurteilt werden, Profilunregelmäßigkeiten können in Hinblick auf ihre Entstehung differenziert werden. Aus diesem Grund weist die Rasterelektronenmikroskopie vor allem bei der Beurteilung von strukturierten Oberflächen, wie z.B. Kauflächen, im Vergleich zu anderen Verfahren zur Oberflächenevaluierung Vorteile auf.

Der größte Nachteil der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung besteht in der schwierigen Abschätzbarkeit von Profilamplituden. Darüber hinaus ist die Beurteilung der Oberflächen aufgrund der Subjektivität dieses Verfahrens untersucherabhängig, jedoch lässt sich dieser Faktor minimieren, indem eine Bewertung der Oberflächen durch mehrere Personen und eine regelmäßige Kalibrierung des Beurteilungsempfindens der Untersucher an Testoberflächen erfolgt. Der apparative Aufwand bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen ist sehr hoch, die Prüfkörper müssen gegebenenfalls wegen fehlender Leitfähigkeit mit Gold bedampft werden und sind so für weitere Untersuchungen nicht mehr zu gebrauchen. Bei relativ glatten Oberflächen kann es schwierig sein, verwertbare Kontraste zu erhalten. Die Auswertung einer In-vivo-Untersuchung ist mit dieser Methode ebenfalls nur indirekt möglich.

Bei der Bewertung der beiden in dieser Untersuchung verwendeten Verfahren zur Oberflächenbeurteilung kommt man zu dem Ergebnis, dass keine der beiden Methoden allein alle Aspekte der Oberflächenmorphologie ausreichend berücksichtigt, sich die Untersuchungsverfahren aber sehr gut ergänzen. So wird der Nachteil der fehlenden flächenmäßigen Darstellung bei der profilometrischen Untersuchung durch die Beurteilung von REM-Aufnahmen ausgeglichen, da hier gerade die flächenmäßige Darstellung der Oberfläche besonders gut möglich ist. Dennoch sollte das Grundgerüst jeder Untersuchung, die sich mit Oberflächenrauigkeiten beschäftigt, die profilometrische Untersuchung sein. Sie ermöglicht quantifizierbare Ergebnisse, die objektiv und hinreichend genau sind. Allerdings sollte auf die qualitative Beurteilung durch REM-Aufnahmen nicht verzichtet werden.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Profilometrische Ergebnisse**

In der profilometrischen Untersuchung wiesen die mit Composite-Polierern bearbeiteten Füllungsoberflächen die mit Abstand niedrigsten Rautiefen auf, wobei die Unterschiede zu den mit anderen Bearbeitungsmethoden erzielten Werten überwiegend statistisch signifikant waren. Dabei fielen insbesondere die hohen Rauigkeitswerte bei der Verwendung von Diafix-oral-Polierern und Occ-lubrush-Bürstchen auf. Bei beiden Methoden handelt es sich um einstufige Poliersysteme, bei denen die polierende Wirkung nur durch die Verwendung eines einzigen Polierers erreicht werden soll. Die profilometrischen Ergebnisse wiesen jedoch auf einen nicht ausreichenden Glättungseffekt hin. Vielmehr waren die gemessenen Rautiefen teilweise so hoch, dass von einer Politur eigentlich nicht gesprochen werden kann.

Die höchsten Rauigkeitswerte wurden bei Verwendung des Diafix-oral-Polierers beobachtet. Es ist anzunehmen, dass die walzenförmige Gestalt des Diafix-Filzpolierers zu den unbefriedigenden Politurergebnissen, insbesondere in den Fissuren, beiträgt. Darüber hinaus ist der Polierer insgesamt vermutlich zu wenig abrasiv, was vor allem an der Korngröße der Diamantpartikel liegen könnte, die einen Einfluss auf die Oberflächenrauigkeit hat [53]. Außerdem ist denkbar, dass das als Bindemittel eingesetzte Wachs durch die bei der Politur entstehende Reibungswärme weich wird und eine Schmierschicht bildet, wodurch die ohnehin geringe Abrasivität der Diamantpartikel zusätzlich verringert wird. Ein anderer Aspekt bezieht sich auf den Aufbau des Polierers. Die Einbindung der Abrasivpartikel in eine flexible Matrix könnte dazu führen, dass die Flexibilität des Polierers einen Teil des Druckes absorbiert und so auf der zu bearbeitenden Oberfläche keine ausreichende Glättung zustande kommt. Dieser Effekt ist umso stärker ausgeprägt, je rauer die zu bearbeitende Oberfläche ist.

Im Gegensatz zur walzenförmigen Gestalt des Diafix-oral-Polierers ließ die Geometrie des Occlubrush-Polierbürstchens gute Polierergebnisse erwarten, da dessen spitze Form einen ausreichenden Zugang zu den Fissuren gewährleistet. Dennoch waren die Ergebnisse der profilometrischen Untersuchung bei dieser Bearbeitungsmethode unbefriedigend, wie die signifikant größeren Rauigkeiten im Vergleich zur Anwendung von Composite-Polierern belegten. Eine zu geringe Standfestigkeit des Polierbürstchens scheidet als Ursache für das mangelhafte Politurergebnis aus, da sich die Form der Polierspitze während der Politur nur wenig veränderte. Als Gründe kommen daher entweder die zu geringe Abrasivität bzw. die Größe der in die Borstenfilamente eingearbeiteten Polierkörper in Frage. Ebenso ist es denkbar, dass die Siliziumkarbidpartikel nicht ausreichend fest mit den Borstenfilamenten verbunden sind. Eine weitere Ursache könnte sein, dass die nach der Ausarbeitung erzielte Glättung nicht ausreichend war und der Polierer in Anbetracht der verbliebenen Oberflächenrauigkeiten seine Wirkung nicht entfalten konnte.

Bei der Bearbeitung der Füllungsoberflächen mit Sof-Lex-Polierdisks konnten insgesamt geringere Rauigkeitswerte erzielt werden als mit Diafix-oral-Polierern und Occlubrush-Bürstchen. Der insgesamt gute Glättungseffekt ist darauf zurückzuführen, dass die Härte der Aluminiumoxidpartikel signifikant größer ist als die der Kompositfüllstoffe. Im Vergleich zu den Composite-Polierern schnitten die Sof-Lex-Disks in der profilometrischen Untersuchung jedoch schlechter ab, wenngleich der Gruppenunterschied nur bei der Messgröße „gemittelte Rautiefe“ statistisch signifikant war. Die Ursache für das im Vergleich zu den Composite-Polierern schlechtere Politurergebnis dürfte auf die scheibenförmige Geometrie der Sof-Lex-Disks zurückzuführen sein, die eine homogene Politur strukturierter Füllungsoberflächen nicht zulässt. Insgesamt kann man jedoch von einer befriedigenden Politur ausgehen, was bei den Diafix-oral-Polierern und den Occlubrush-Bürsten nicht der Fall war.

Bei Verwendung von Composite-Polierern konnten die mit Abstand niedrigsten Rautiefen erzielt werden. Bei diesem zweistufigen Poliersystem wurde aufgrund der für Fissuren besonders geeigneten Polierspitzengeometrie eine gründliche Instrumentierung aller Füllungsflächen erreicht, so dass die Rautiefen durchgängig vermindert werden konnten. Da die Form der Polierspitze aber derjenigen des Occlubrush-Bürstchens ähnelt, müssen für das gute profilometrische Ergebnis der Composite-Polierer noch andere Faktoren verantwortlich sein. Zum einen werden beim Composite-Poliersystem nacheinander zwei Polierer verwendet, die eine unterschiedliche Korngröße der Abrasivpartikel aufweisen. Die daraus resultierende stufenweise Reduzierung der Rautiefen erleichtert dem einzelnen Polierer die volle Entfaltung seiner Polierwirkung, da mit einer bestimmten Körnung der Abrasivpartikel auch nur bestimmte Rauigkeiten der Ausgangsoberfläche geglättet werden können. Darüber hinaus stellt die Härte der Abrasivpartikel einen entscheidenden Faktor dar. Eine weitere mögliche Erklärung für das gute Abschneiden der Composite-Polierer in der profilometrischen Untersuchung ist der im Zusammenhang von den Diafix-oral-Polierern bereits erwähnte Aspekt der Flexibilität des Polierers. Bei den unelastischen Composite-Polierern kommt es im Gegensatz zu flexiblen Polierern

nicht zu einer Absorption des Druckes, so dass dieser vollständig auf die zu polierende Oberfläche übertragen wird und so eine stärkere Rautiefenverminderung bewirkt.

Bei der Bewertung der Daten ist von Interesse, inwieweit die einzelnen Messgrößen Rückschlüsse auf die Gesamtstrukturierung der Oberfläche zulassen. Bei singulärer Betrachtung einer einzelnen Messgrößen ist eine Beurteilung der Gesamtstruktur der Oberfläche nicht möglich, was vor allem auf die maximale Rautiefe zutrifft, bei der es sich nur um den Wert für die größte einzelne Rautiefe innerhalb der Gesamtmessstrecke handelt. Auch die gemittelte Rautiefe allein sagt nichts über die Gesamtstrukturierung aus. Bei der Berechnung des arithmetischen Mittenrauwertes werden zwar sämtliche Profilwerte des Rauheitsprofils berücksichtigt, jedoch lässt sich keine Aussage darüber treffen, ob das Ergebnis durch viele kleine oder durch wenige große Rautiefen hervorgerufen wurde. Aus diesem Grund erlaubt nur die kombinierte Betrachtung der drei Einzelmessgrößen Rückschlüsse auf die Gesamtstrukturierung der Oberfläche. Dabei stellt eine geringe Differenz zwischen maximaler und gemittelter Rautiefe ein Indiz für eine gleichmäßige Verteilung der Profilamplituden dar. Der arithmetische Mittenrauwert trägt nur zur grundsätzlichen Einstufung in eher raue oder eher glatte Oberflächen bei. Tabelle 3 enthält die Werte für die relative Differenz zwischen maximaler und gemittelter Rautiefe bei den vier im Rahmen der vorliegenden Studie eingesetzten Bearbeitungsmethoden.

Tab. 3: Berechnung der prozentualen Abnahme der Rauigkeitswerte von  $R_{\max}$  zu  $R_z$

	$R_{\max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{\max}-R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{\max}-R_z/R_{\max} \cdot 100$
Sof-Lex	17,8	8,6	9,2	51,7
Diafix	23,9	10,2	13,7	57,3
Composite	12,4	6,1	6,3	50,8
Occlubrush	20,7	9,6	11,1	53,6

In Anbetracht des relativ großen Unterschiedes zwischen maximaler und gemittelter Rautiefe ist bei allen vier Bearbeitungsmethoden davon auszugehen, dass die Profilamplituden nicht gleichmäßig über die zu untersuchenden Oberflächen verteilt waren. Dies bestätigt die Vorstellung, dass aufgrund der Strukturierung der Oberfläche mit konvexen Höckerabhängen und konkaven Fissuren mit keinem der verwendeten Verfahren eine gleichmäßige Politur erfolgen konnte. Generell gilt, dass die Verteilung der Profilamplituden umso homogener ist, je geringer die prozentuale Abnahme zwischen  $R_{\max}$  und  $R_z$  ausfällt. Die Ergebnisse der Tab. 3 zeigen, dass die relative Differenz zwischen maximaler und gemittelter Rautiefe bei den mit Composite-Polierern bearbeiteten Füllungsoberflächen am geringsten ist, gefolgt von den Sof-Lex-Disks und den Occlubrush-Bürsten, während die höchste prozentuale Abnahme bei Verwendung von Diafix-oral-Polierern festzustellen war. Dies ist exakt die gleiche Reihenfolge wie bei den Ergebnissen für die drei Messgrößen  $R_{\max}$ ,  $R_z$  und  $R_a$ , obwohl die absolute Größe der Messwerte bei der Berechnung der prozentualen Abnahme keinen Einfluss hat. Zusammenfassend kann man also sagen, dass eine Bearbeitung der Füllungsoberflächen mit Composite-Polierern die niedrigsten Rautiefen hinterließ und gleichzeitig die gleichmäßigste Verteilung der Profilamplituden zeigte.

### 5.2.2 Rasterelektronenmikroskopische Ergebnisse

Im Rahmen der qualitativen Beurteilung der Füllungsoberflächen mittels rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen wurde die anatomische Form, die Konturierung und die Rauigkeit der Oberflächen bewertet. Dabei konnte kein Bearbeitungsverfahren in allen drei Punkten einheitlich gute Ergebnisse liefern.

Nach Politur mit einem Diafix-oral-Polierer blieb die anatomische Form der Füllung weitgehend unverändert. Jedoch war auch keine wirksame Minimierung der Rautiefen erfolgt, was sowohl in der Übersichtsaufnahme als auch in der Detailaufnahme des Fissurenbereichs deutlich wurde. Diese Beobachtung

steht im Einklang mit den Ergebnissen der profilometrischen Untersuchung und bestätigt die Vermutung, dass die Abrasivität des Polierers insgesamt zu gering und die Walzenform für die Politur von Molarenoberflächen möglicherweise nicht geeignet ist. Dies zeigte sich auch bei der Beurteilung der Füllungskonturen, die in 75% der Fälle einzelne kantige oder überwiegend kantige Übergänge aufwiesen.

Bei Verwendung von Occlubrush-Bürsten blieb das Höcker-Fissuren-Relief auch nach der Politur erhalten, partiell waren Parafissuren erkennbar. Die mit dieser Bearbeitungsmethode erzielten Ergebnisse waren insofern interessant, als eine insgesamt schlechte Bewertung der Oberflächenkonturen einherging mit der besten Beurteilung der Rauigkeit im Fissurenbereich. Die Geometrie der aus aneinanderliegenden Filamenten bestehenden Polierspitze ließ offenbar eine ausgezeichnete Politur der Fissurenbereiche zu. Dies ist einerseits vermutlich auf die Standfestigkeit der Filamente zurückzuführen, die während des Poliervorganges nicht umknickten oder sich abnutzten, so dass die Form des Polierers während der gesamten Politurzeit erhalten blieb. Andererseits war eine effektive Einebnung der Rauigkeiten im Fissurenbereich möglich, da die Korngröße der Abrasivpartikel bei der Occlubrush-Bürste deutlich größer ist als beim Diafix-oral-Polierer. Größere Kanten und Rillen wurden jedoch offensichtlich nicht abgetragen, was zu den negativen Beurteilungen bei der Betrachtung der Oberflächenkonturen führte. Allerdings wurde auf diese Weise auch die Oberflächenstruktur einschließlich Parafissuren erhalten.

Bei Verwendung der Sof-Lex-Disks wurden in den REM-Aufnahmen die Schwächen der Instrumentengeometrie deutlich, da sich die anatomische Form der Füllungsfläche insbesondere aufgrund der abgetragenen Höckerabhängige stark verändert darstellte. Darüber hinaus war auf den REM-Aufnahmen kein Füllungsrand mehr zu erkennen, so dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch Zahnhartsubstanz mitabgetragen wurde. Allerdings konnte von Mitchell et al. [72] gezeigt werden, dass der iatrogene Substanzabtrag bei Verwendung von flexiblen aluminiumoxidbeschichteten Disks insgesamt gering

war. Die für die Sof-Lex-Polierdisks zugänglichen Areale erschienen sehr glatt poliert, während die Strukturen in den Fissuren häufig uninstrumentiert und rau waren.

Bei Betrachtung der mit Composite-Polierern bearbeiteten Füllungsoberflächen fiel eine sogar fast muldenförmige Morphologie auf. Das Oberflächenrelief wurde durch die beiden abgestuften Polierer deutlich verändert, jedoch erschien die Oberfläche gleichmäßig gut instrumentiert und lieferte das beste bzw. zweitbeste Ergebnis bei der Betrachtung der Füllungskonturen und der Rauigkeiten. Das Politurergebnis lässt sich so erklären, dass die Polierspitze in ihrer ursprünglichen Form ausgezeichnet zur Politur der strukturierten Füllungsfläche geeignet ist, sich diese aber während des Poliervorgangs abnutzt und in ihrer veränderten Gestalt zusammen mit der stark abrasiven Wirkung des Polierers für das wannenförmige Aussehen der Füllungsoberfläche verantwortlich ist.

### 5.2.3 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der beiden Evaluierungsverfahren

Bei der Bearbeitung der Kompositoberflächen mit Diafix-oral-Polierern zeigten sich sowohl in der profilometrischen als auch in der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung große Rautiefen, die auf einen ungenügenden Glättungseffekt hinwiesen. Andererseits wurde die Oberflächenmorphologie durch die Politur nicht oder nur unwesentlich verändert, wie die REM-Aufnahmen belegen konnten.

Bei Verwendung von Occlubrush-Bürstchen belegten die profilometrischen und rasterelektronenmikroskopischen Daten eine Vielzahl kantiger und stark kantiger Areale. Die REM-Detailaufnahmen des Fissurenbereichs zeigten jedoch bei stärkerer Vergrößerung den im Vergleich zu den anderen Polierern größten Anteil glatter Flächen.

Mit Hilfe von Sof-Lex-Disks kann auf planen bzw. konvexen Flächen ein guter Glättungseffekt erzielt werden [6, 12, 13, 22, 23, 29, 34, 35, 38, 39, 46, 48, 49, 58, 59, 66, 72, 80, 82, 85, 88, 97, 100, 102, 103, 109, 113], weshalb sie als Goldstandard für die Politur von konvexen Füllungsflächen angesehen werden. Zur Politur konkaver und anatomisch strukturierter Oberflächen gelten sie jedoch als ungeeignet [13, 24, 53, 61, 70, 98, 100]. Bislang wurde allerdings in keiner Studie untersucht, wie sich Sof-Lex-Disks bei der Politur von Füllungsflächen im Seitenzahnbereich tatsächlich verhalten würden. Aus diesem Grund wurden sie in die vorliegende Studie miteinbezogen. Die profilometrischen und vor allem die rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse belegten aber die Ausgangshypothese, dass mit Sof-Lex-Disks eine befriedigende Politur von Seitenzahnfüllungen nicht möglich ist. Wenngleich die profilometrischen Ergebnisse ähnliche Rautiefen wie bei den übrigen Bearbeitungsmethoden auswiesen, machten die REM-Aufnahmen eine deutliche Veränderung der Morphologie der Füllung und des Zahnes durch die Politur deutlich, ohne dass die Tiefen der Fissuren ausreichend instrumentiert werden konnten.

Auch die Untersuchungsergebnisse der Composite-Polierer belegten, wie wichtig die Evaluierung durch mehrere Methoden ist. Während die profilometrischen Ergebnisse überwiegend statistisch signifikant bessere Glättungseffekte als bei den anderen drei Methoden zeigten, wiesen die REM-Aufnahmen auf eine deutlich veränderte Oberflächenmorphologie hin. Offenbar durch relativ grobe Abrasivpartikel und eine sich abnutzende Spitze wurde die Kaufläche durch die Politur wannenförmig, wobei die vorher vorhandenen Fissuren und Parafissuren verloren gingen. Ebenso waren die Höckerabhänge abgetragen.

### 5.3 Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren

Ein direkter Vergleich der eigenen profilometrischen Ergebnisse mit denen anderer Autoren ist schwierig, da viele verschiedene Untersuchungsbedingungen die Ergebnisse beeinflussen können. Vor allem der Versuchsaufbau hat einen starken Einfluss auf die späteren Resultate. Meistens werden die profilometrischen Untersuchungen an planen Prüfkörpern durchgeführt. Untersucht man dagegen wie im vorliegenden Fall strukturierte Oberflächen, ist zu erwarten, dass sich die ermittelten Werte erheblich unterscheiden, da man davon ausgehen kann, dass strukturierte Oberflächen wesentlich schwieriger zu bearbeiten sind als plane Prüfkörper. Auch die Auswahl der Tastspitze, die Festlegung der Messparameter sowie die zu bestimmenden Messgrößen beeinflussen die Vergleichbarkeit der Studien. Nicht zuletzt werden die Ergebnisse auch noch durch das Untersuchungsdesign (z.B. verwendetes Kompositmaterial, Bearbeitungsdauer, manuelle oder maschinelle Bearbeitung, Art der Wasserkühlung) beeinflusst.

Untersuchungen über die Wirksamkeit von Politurverfahren sind in großer Zahl publiziert worden, so dass sich der Literaturvergleich der eigenen Ergebnisse auf Studien beschränken soll, die sich ebenfalls mit den in der vorliegenden Untersuchung eingesetzten Polierverfahren befassten.

Eine In-vitro-Studie von Jung et al. [47] an planen Prüfkörpern hatte die Effektivität von diamantimprägnierten Filzscheiben (Diafix-oral-Polierer) bei der Politur von Hybridkompositen nach unterschiedlichen Vorbehandlungen mit Diamantfinierern (Partikelgröße 30, 15 und 8  $\mu\text{m}$ ) und/oder Hartmetallfinierern (12- und 30-blättrig) zum Inhalt. Als Referenzmethode diente die Politur mit flexiblen Disks (Sof-Lex) nach Vorbehandlung mit einem 30  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierer, wobei die profilometrische Untersuchung für dieses Verfahren einen durchschnittlichen arithmetischen Mittenrauwert von ca. 0,58  $\mu\text{m}$  ergab. (Die Ergebnisse sind in der Publikation ausschließlich graphisch dargestellt und können daher

nur als ungefähre Zahlenwerte wiedergegeben werden). Im Vergleich dazu konnten überwiegend signifikant geringere Oberflächenrauigkeiten (0,24 bis 0,45  $\mu\text{m}$ ) bei Verwendung der Diafix-oral-Polierer nachgewiesen werden. Eine Ausnahme stellte lediglich die Untersuchungsgruppe dar, bei der vor Anwendung der diamantimprägnierten Filzscheiben eine Vorbehandlung mit einem 30  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierer erfolgt war; hier lag der durchschnittliche Mittenrauwert bei etwa 1,75  $\mu\text{m}$ .

Trotz übereinstimmender Vorbehandlung und Messmethodik unterschieden sich diese Ergebnisse stark von unseren Resultaten, wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass die Untersuchung von Jung et al. [47] an planen Oberflächen durchgeführt wurde. Die Beobachtung von Jung et al., dass diamantimprägnierte Filzscheiben signifikant bessere Resultate lieferten als flexible Disks, konnte in der vorliegenden Untersuchung an Kompositfüllungen im Molarenbereich nicht bestätigt werden. Nach Ausarbeitung mit Diamant- und Hartmetallfinierern und anschließender Politur mit flexiblen Disks wies das verwendete Hybridkomposit Herculite in der Referenzstudie kleinere Rautiefen auf ( $R_a = 0,58 \mu\text{m}$ ) als das Hybridkomposit Tetric Ceram in der vorliegenden Untersuchung ( $R_a = 2,0 \mu\text{m}$ ). Bei gleicher Vorbehandlung und Politur durch diamantimprägnierte Filzscheiben war der Unterschied zwischen der Studie ( $R_a = 0,24 \mu\text{m}$ ) und der vorliegenden Arbeit ( $R_a = 2,4 \mu\text{m}$ ) noch größer. Als mögliche Erklärung für die stark abweichenden Ergebnisse kommen im Wesentlichen zwei Aspekte in Frage. Zum einen wurden unterschiedliche Hybridkomposite untersucht. Es könnte daher sein, dass der kleinere mittlere Füllpartikeldurchmesser des Hybridkomposits Herculite eine bessere Hochglanzpolitur zulässt und so niedrigere Rautiefen ermöglicht als Tetric Ceram. Wesentlich stärker werden die Ergebnisse aber vermutlich durch die unterschiedliche Oberflächenstruktur der Prüfkörper beeinflusst, wobei die Tatsache, dass die gemessenen Rautiefen an planen Prüfkörpern so viel niedriger ausfallen als an strukturierten Füllungsflächen im Seitenzahnbereich, dennoch überrascht. Die stark abweichenden Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich die im Rahmen von In-

vitro-Studien gewonnenen Daten nicht ohne weiteres auf praxisähnliche oder klinische Bedingungen übertragen lassen.

Eine weitere Studie von Jung [44] beschäftigte sich mit der Ausarbeitung und Politur von Kompositen sowohl in vitro an planen Prüfkörpern als auch klinisch im Rahmen einer In-vivo-Untersuchung. Vorbehandlung und Messmethodik ähnelten der vorliegenden Untersuchung, wobei zur Vorbehandlung nacheinander Diamant- und Hartmetallfinierer eingesetzt wurden. Neben anderen Poliersystemen wurden auch die in der vorliegenden Studie verwendeten Sof-Lex-Disks sowie der Diafix-oral-Polierer untersucht. An den planen Kompositprüfkörpern wurde bei Verwendung von Sof-Lex-Disks in der Studie von Jung [44] mit  $R_a = 0,69 \mu\text{m}$  ein deutlich niedrigerer Wert gemessen als in der vorliegenden Untersuchung ( $R_a = 2,0 \mu\text{m}$ ). Nach Einsatz des Diafix-oral-Polierers waren die Unterschiede zwischen dem in der Vergleichsstudie ermittelten Wert ( $R_a = 0,50 \mu\text{m}$ ) und unserem Ergebnis ( $R_a = 2,4 \mu\text{m}$ ) noch größer.

Im Rahmen des klinischen Untersuchungsteils wurden mit Kompositinlays gefüllte Zähne in situ unter anderem mit Diafix-oral poliert und anschließend über die Replika-Technik im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Bei der Bewertung der Übersichtsaufnahmen ergaben sich ähnliche Ergebnisse wie in der vorliegenden Studie: runde Übergänge waren mit einer Häufigkeit von 20% vs. 25% zu beobachten, einzelne kantige Übergänge machten jeweils 60% aus und überwiegend kantige Übergänge wurden bei 20% bzw. 15% vorgefunden. Bei der Bewertung der Zentralfissur unter stärkerer Vergrößerung waren die Ergebnisse der Vergleichsstudie deutlich besser als in der vorliegenden Arbeit: glatte Anteile überwogen mit einer Häufigkeit von 77,5% vs. 51%, während 14,5% vs. 31% wenige oder gering ausgeprägte Riefen und 8% vs. 18% zahlreiche oder stark ausgeprägte Riefen zeigten. Dieses unterschiedliche Ergebnis könnte dadurch erklärt werden, dass die Ausarbeitung der Komposit-inlays in der klinischen Studie von Jung [52] im zahntechnischen Labor und dort aufgrund des besseren Zugangs zur Kaufläche effizienter durchgeführt werden

konnte, so dass auch die nachfolgende Politur ein insgesamt besseres Ergebnis lieferte.

In einer neueren Untersuchung von Jung [46] an planen Prüfkörpern, die aus dem Hybridkomposit Tetric hergestellt waren, erfolgte unter anderem ebenfalls ein Vergleich der Effektivität von Sof-Lex-Disks und Diafix-oral-Polierern nach Ausarbeitung mit Diamant- und/oder Hartmetallfinierern. Dabei war nach Vorbehandlung mit einem 30  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierer der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  bei Verwendung der Sof-Lex-Disks niedriger als bei Diafix-oral-Filzpolierern, während bei Ausarbeitung mit einem 30  $\mu\text{m}$ - und anschließend mit einem 20  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierer einerseits sowie mit einem 30  $\mu\text{m}$ -Diamant- und einem 16-blättrigen Hartmetallfinierer andererseits das Diafix-oral-Poliersystem besser abschnitt. Die Ergebnisse der Profilometrie wurden in der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung bestätigt.

Eine andere Studie von Jung et al. [48], die den Poliereffekt von sechs verschiedenen Systemen an Probekörpern aus vier unterschiedlichen Kompositen untersuchte, ermöglichte ebenfalls einen Vergleich der Oberflächenrauigkeiten nach Politur mit Sof-Lex-Disks und Diafix-oral-Polierern. Bei Vorbehandlung mit einem 30  $\mu\text{m}$ -Diamant- sowie einem Hartmetallfinierer war der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  nach Politur mit Diafix-oral-Polierern geringer als bei Verwendung von Sof-Lex-Disks. Eine Vorbehandlung mit einem 30  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierer allein sowie einem 30  $\mu\text{m}$ - und einem 20  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierer erfolgte nur in der Gruppe der mit Diafix-oral polierten Prüfkörper. Auch hier zeigte sich ein Einfluss der zur Ausarbeitung verwendeten Finierer, wobei die Kombination eines 30  $\mu\text{m}$ - und eines 20  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierers besser abschnitt als der Einsatz eines 30  $\mu\text{m}$ -Diamantfinierers allein. Die Ergebnisse der zusätzlich durchgeführten rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung der Prüfkörperoberflächen stimmten mit den Resultaten der Profilometrie überein.

In einer Studie von Schmid et al. [92] wurde einerseits an extrahierten menschlichen Unterkiefermolaren rasterelektronenmikroskopisch die marginale Adaptation von Kompositinlays nach Verwendung verschiedener Finier- und Polier-

systeme, darunter auch flexible Disks und Silikonpolierer, untersucht. Dabei wurde bei Verwendung eines inhomogenen Mikrofüllerkomposits ein perfekter Rand zwischen Schmelz und Zementierungskomposit bei 98,3% (Disk) bzw. 76,4% (Silikonpolierer) der Randanteile beobachtet, zwischen Zementierungskomposit und Kompositinlay wurden 97,1% (Disk) bzw. 92,9% (Silikonpolierer) der Randanteile als perfekt eingestuft. Bei Einsatz eines Feinpartikelhybridkomposits waren 95,5% (Disk) bzw. 84,3% (Silikonpolierer) der Randanteile zwischen Schmelz und Zementierungskomposit und 97,6% (Disk) bzw. 98,9% (Silikonpolierer) zwischen Zementierungskomposit und Inlay perfekt. Bei einer zusätzlich durchgeführten profilometrischen Untersuchung an planen Prüfkörpern wurde der arithmetische Mittenrauwert bestimmt. Nach Bearbeitung mit Silikonpolierern betrug der  $R_a$ -Wert beim inhomogenen Mikrofüllerkomposit durchschnittlich etwa  $0,14\ \mu\text{m}$  und beim Feinpartikelhybridkomposit etwa  $0,10\ \mu\text{m}$ . Bei Verwendung von flexiblen Disks lagen die entsprechenden Werte bei ca.  $0,15\ \mu\text{m}$  bzw. ca.  $0,25\ \mu\text{m}$ . Die ungefähren Zahlenangaben erklären sich aus der Tatsache, dass die Ergebnisse in der zitierten Publikation nur graphisch dargestellt sind. Der Vergleichswert in unserer Untersuchung betrug bei Verwendung von Silikonpolierern  $1,6\ \mu\text{m}$  und nach Bearbeitung mit Sof-Lex-Disks  $2,0\ \mu\text{m}$ . Die deutlich größeren Rautiefen in unserer Untersuchung sind vermutlich auf das Studiendesign zurückzuführen, da die Einebnung der vorhandenen Rautiefen bei strukturierten Oberflächen schwieriger ist als bei planen Oberflächen. Weiterhin kamen Schmid et al. [92] zu dem Schluss, dass die Politur von Kompositen mit Silikonpolierern aufgrund des starken Materialabtrags problematisch ist. Dies deckt sich mit den bei der Beurteilung der REM-Aufnahmen gemachten Beobachtungen der vorliegenden Untersuchung.

Vergleichsstudien zum Occlubrush-Polierbürstchen sind selten. Eine Studie von Krejci et al. [59] untersuchte unter anderem das Zerstörungspotential des Occlubrush-Polierers im Vergleich zu Sof-Lex-Disks auf Zahnschmelz und Kompositoberflächen. Dabei wurde an extrahierten Zähnen festgestellt, dass beide Polierer weder die Zahn- noch die Füllungsoberfläche destruierten. Zusätzlich führte man an planen Prüfkörpern noch eine profilometrische Untersuchung durch, wobei der ermittelte arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  für das Occ-

lubrush-Bürstchen mit knapp  $0,4 \mu\text{m}$  deutlich niedriger lag als der  $R_a$ -Wert von  $2,2 \mu\text{m}$  in der vorliegenden Untersuchung. Die Werte für die Sof-Lex-Disks lagen bei etwa  $0,15 \mu\text{m}$  bei Krejci et al. [59] und  $2,0 \mu\text{m}$  in der eigenen Untersuchung. Allerdings wurde bei der Vergleichsstudie durch alleinige Verwendung von  $25 \mu\text{m}$ -Diamantfinierern eine andere Art der Vorbehandlung gewählt. Insgesamt kam die Studie von Krejci et al. [59] zu dem Ergebnis, dass das Occlubrush-Bürstchen in der Lage ist, die Oberflächenrauigkeiten wirksam zu minimieren, ohne die Oberflächenstruktur zu beschädigen.

#### **5.4 Klinische Aspekte und Praxisrelevanz der Ergebnisse**

In-vitro-Versuche zur Effektivität verschiedener Poliersysteme an planen Prüfkörpern lassen nur eingeschränkt Aussagen über die Eignung der Ausarbeitungssysteme bei der Bearbeitung von strukturierten Oberflächen an schwer zugänglichen Stellen in der Mundhöhle zu.

Da die vorliegende Studie unter praxisähnlichen Bedingungen durchgeführt werden sollte, wurden natürliche Zähne in einem Frasco-Kiefermodell befestigt und mit einer Kompositfüllung versehen, deren Ausarbeitung und Politur im Phantomkopf erfolgte. Obwohl bei diesem Versuchsaufbau Aspekte wie Speichelfluss oder eine limitierte Mundöffnung des Patienten nicht berücksichtigt werden konnten, ist eine Übertragung der Ergebnisse auf die klinische Praxis durch oben genannte Versuchsbedingungen zumindest eingeschränkt möglich. Um einen Gewöhnungseffekt des Behandlers auszuschließen, wurde die Oberflächenbearbeitung anhand einer Randomisierungsliste durchgeführt, Praxisbedingungen wurden durch ein konstantes Zeitintervall bei der Bearbeitung imitiert.

Da Zeit- und Kostenaspekte im Praxisalltag von großer Bedeutung sind, wäre grundsätzlich einem einstufigen Poliersystem der Vorzug zu geben. Allerdings erwiesen sich die mit dem Diafix-oral-Polierer erzielten Ergebnisse als nicht

befriedigend, während im Gegensatz dazu das Occlubrush-Polierbürstchen bei der Auswertung der REM-Aufnahmen zumindest teilweise gute Resultate lieferte. Dennoch konnten die einstufigen Poliersysteme in der vorliegenden Untersuchung insgesamt nicht überzeugen.

Die besten profilometrischen Ergebnisse lieferte das zweistufige Composite-Poliersystem. Neben dem guten Glättungseffekt ist die Möglichkeit, stumpf gewordene Polierspitzen wieder zu aktivieren, als ökonomischer Vorteil anzusehen, da der Polierer auf diese Weise deutlich länger als andere ohne Qualitätseinbußen benutzt werden kann. Ein Nachteil des Composite-Polierers ist jedoch, dass er auch die Füllungsmorphologie deutlich verändert, was die korrekte okklusale Adjustierung erschwert. Da diese normalerweise im Rahmen der Ausarbeitung vorgenommen wird, können die funktionellen Kontakte, die für eine korrekte Antagonistenbeziehung im kautragenden Seitenzahnbereich unbedingt zu fordern sind, durch eine zu abrasive Politur wieder verloren gehen.

So bleibt festzuhalten, dass eine ideale Bearbeitungsmethode für strukturierte Füllungsareale unter den Bedingungen der vorliegenden Studie nicht identifiziert werden konnte. Bei mehrstufigen Systemen war eine hohe Abrasion der Oberfläche zu beobachten, die zwar mit einem gutem Glättungseffekt, gleichzeitig aber auch mit der Einebnung von Füllungskonturen und somit dem Verlust der Antagonistenbeziehung einherging. Bei einstufigen Poliersystemen war die Abrasion dagegen gering, so dass die Füllungsmorphologie zwar erhalten werden konnte, andererseits aber auch große Rautiefen zurückblieben.

Wünschenswert wäre daher entweder die Optimierung des Ausarbeitungsverfahrens im Hinblick auf die Verwendung einstufiger Poliersysteme oder eine Weiterentwicklung mehrstufiger Poliersysteme mit dem Ziel einer ausreichenden Rautiefenreduktion bei gleichzeitiger Schonung der Oberflächenstrukturen.

## 6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, vier verschiedene Methoden zur Ausarbeitung und Politur von Kompositfüllungen unter praxisähnlichen Bedingungen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden 80 kariesfreie extrahierte Molaren mit okklusalen Kavitäten versehen, nach den Richtlinien der Säure-Ätz-Technik mit dem Feinpartikelhybridkomposit Tetric Ceram gefüllt und randomisiert vier verschiedenen Gruppen zugeordnet. Zur Überschussbeseitigung und Konturierung sowie zum Finieren wurden bei allen Füllungsoberflächen nacheinander Diamant- und Hartmetallfinierer eingesetzt. Danach wurden die Oberflächen entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit mit Sof-Lex-Disks, Diafix-oral-Polierern, Composite-Polierern und Occlubrush-Polierbürstchen poliert. Die Bearbeitung der Oberflächen erfolgte manuell unter Berücksichtigung der jeweiligen Herstellerempfehlungen bezüglich Umdrehungszahl und Art der Kühlung der rotierenden Instrumente. Dabei waren die Zähne in einem Kunststoffmodell eingebettet und dieses in einem Phantomkopf montiert.

Die Füllungsoberflächen wurden quantitativ einer profilometrischen Untersuchung mit einem mechanischen Mikrotaster unterzogen. Die Taststreckenlänge betrug  $1,75\ \mu\text{m}$ . Jede Prüfkörperoberfläche wurde mit einem Abstand von  $0,2\ \text{mm}$  zwischen zwei Tastspuren neunmal abgetastet. Die Auswertung der Daten erfolgte durch Ermittlung von maximaler Rautiefe  $R_{\text{max}}$ , gemittelter Rautiefe  $R_z$  und arithmetischem Mittenrauwert  $R_a$ .

Im Rasterelektronenmikroskop wurden die polierten Oberflächen qualitativ beurteilt. Von jeder Oberfläche wurden zwei REM-Aufnahmen angefertigt: eine Übersichtsaufnahme, welche die komplette Zahnoberfläche zeigte, und eine Detailaufnahme aus dem Bereich der Zentralfissur. Anhand der Übersichtsaufnahme wurden neben der anatomischen Form auch die Konturierung der Fül-

lungsoberfläche beurteilt. Dabei erfolgte eine Zuordnung zu den folgenden drei qualitativen Kriterien:

- Ü-A: Runde Übergänge, kaum Unregelmäßigkeiten erkennbar
- Ü-B: Einzelne kantige Übergänge, einzelne zerklüftete Bereiche
- Ü-C: Überwiegend kantige Übergänge, zahlreiche Unregelmäßigkeiten

Die Detailaufnahme zur Beurteilung der Rauigkeit wurde durch Überlagerung eines Rasters in kleinere Einheiten unterteilt. Jedes Rasterfeld wurde ebenfalls einem von drei qualitativen Kriterien zugeordnet:

- F-A: Glatte, homogene Areale, keine Bearbeitungsspuren erkennbar
- F-B: Wenige oder gering ausgeprägte Riefen, einzelne Unregelmäßigkeiten
- F-C: Zahlreiche oder stark ausgeprägte Riefenbildung

Die prüfstatistische Auswertung der quantitativ erhobenen Daten erfolgte durch einfache ANOVA mit Anschlussstest nach Scheffé.

Die profilometrische Untersuchung zeigte deutlich, dass die zweistufigen Composite-Polierer die geringsten Rautiefen erzielten ( $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ ). Die anderen Bearbeitungsmethoden zeigten deutlich größere Rauigkeiten: Sof-Lex-Disks ( $R_a = 2,0 \mu\text{m}$ ), Occlubrush-Polierbürstchen ( $R_a = 2,2 \mu\text{m}$ ) und Diafix-oral-Polierer ( $R_a = 2,4 \mu\text{m}$ ). Dabei erwiesen sich die Gruppenunterschiede zwischen Composite-Polierern einerseits und Diafix-oral-Polierern sowie Occlubrush-Bürstchen andererseits als statistisch signifikant.

Die Beurteilung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen bezüglich der anatomischen Form zeigte, dass die Oberflächenmorphologie nach Politur mit dem Composite-Polierer deutlich stärker verändert war als bei den übrigen Bearbeitungsmethoden. Gleichzeitig wurde diese Bearbeitungsmethode bei der Beurteilung der Konturen in der Übersichtsaufnahme am häufigsten dem Kriterium Ü-A zugeordnet (80%), während diese Einstufung bei den übrigen Verfahren deutlich seltener erfolgte (15-30%).

Bei stärkerer Vergrößerung zur Betrachtung der Rauigkeit im Fissurenbereich erhielten die Oberflächen nach Bearbeitung mit dem Occlubrush-Polier-

bürstchen am häufigsten eine Einstufung nach F-A (81%). Die Bewertung der Oberflächen nach Bearbeitung mit dem Composite-Polierer war mit einem Anteil der Kategorie F-A von 73% allerdings nur geringfügig schlechter. Bei den übrigen beiden Bearbeitungsmethoden wurden nur 51% (Diafix-oral) bzw. 61% (Sof-Lex) der Oberflächen nach Kriterium F-A eingestuft.

Fasst man die Ergebnisse der profilometrischen und der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung zusammen, kommt man zu dem Schluss, dass das zweistufige Composite-Poliersystem zwar in der profilometrischen Untersuchung die niedrigsten Rautiefen hinterließ, gleichzeitig aber die Oberflächenmorphologie der Füllung durch die Politur deutlich verändert wurde.

Beim einstufigen Occlubrush-Poliersystem fiel die Diskrepanz zwischen quantitativer und qualitativer Beurteilung der Rauigkeit auf. Die Füllungsmorphologie war nach der Politur intakt. Gleichzeitig zeigte die qualitative Beurteilung nur sehr geringe Rauigkeiten, während die quantitativ gemessene Oberflächengüte dagegen unbefriedigend blieb.

Bei der Politur mit Diafix-oral-Polierern blieb die Füllungsmorphologie zwar ebenfalls weitgehend unverändert, jedoch belegten die profilometrischen Ergebnisse und die qualitativen Beurteilungen der Rauigkeit, dass keine ausreichende Reduktion der Rautiefen erreicht wurde.

Die Verwendung von Sof-Lex-Disks kann für strukturierte Oberflächen nicht empfohlen werden, da nur die konvexen und gut zugänglichen Areale des Füllungsreliefs ausreichend poliert wurden.

Demnach konnte kein Poliersystem alle gestellten Anforderungen erfüllen. Wünschenswert wäre daher entweder die Optimierung des Ausarbeitungsverfahrens im Hinblick auf die Verwendung einstufiger Poliersysteme oder eine Weiterentwicklung mehrstufiger Poliersysteme mit dem Ziel einer ausreichenden Rautiefenreduktion bei gleichzeitiger Schonung der Oberflächenstrukturen.

## 7 Summary

This study compared the effects of four different finishing and polishing techniques on the surface of composite restorations under practice-like circumstances. For this purpose, 80 caries-free, extracted molars were restored with occlusal fillings using the small-particle hybrid composite resin Tetric Ceram which was randomly divided into four different groups. In all groups excess reduction, contouring and finishing was performed with the sequence of a diamond and a tungsten carbide finishing bur. After finishing, the occlusal surfaces were polished using one of the following polishing techniques: flexible discs (Sof-Lex-Discs), diamond-impregnated felt wheels (Diafix-oral), composite polishers, and abrasive brushes (Occlubrush). Conditions of the polishing procedure, including cooling and revolutions per minute, were set according to the manufacturer's recommendations. The teeth were embedded in a study model which was mounted on a mannequin.

The polished composite surfaces were evaluated quantitatively and qualitatively. Quantitative assessment of the surface was done with a profilometric analysis with a mechanic stylus. Nine profiles were run, each 0,2 mm apart with sampling length of 1,75  $\mu\text{m}$ . Surface roughness was characterized by maximal surface roughness  $R_{\text{max}}$ , average surface roughness  $R_z$  and arithmetic average surface roughness  $R_a$ .

Qualitative assessment of the polished surfaces was done with a scanning electron microscope. Two scanning electron micrographs were taken of each surface: an overview showing the complete tooth surface and a detailed view of fissure surface. Based on the detailed view, the anatomic morphology as well as the contouring of the surface were assessed. The prints of the overviews were divided in three categories with respect to roundness of contours:

- Ü-A: smooth rounding
- Ü-B: few edged contours
- Ü-C: predominantly edged contours.

The detailed view was subdivided into squares. Each square was assessed separately for roughness using the following categories:

- F-A: smooth, homogeneous surface
- F-B: minor roughness
- F-C: severe roughness

Differences between the four polishing methods were analyzed with one-way ANOVA and Scheffé post-hoc tests.

The profilometric analysis clearly showed the lowest surface roughness ( $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ ) when using the two-step composite polishers. The other polishing techniques revealed much higher roughness values: Sof-Lex-Discs ( $R_a = 2,0 \mu\text{m}$ ), Occlubrush ( $R_a = 2,2 \mu\text{m}$ ) and Diafix-oral ( $R_a = 2,4 \mu\text{m}$ ). The group differences between composite polishers on the one hand and Diafix-oral as well as Occlubrush on the other hand proved to be statistically significant.

The assessment of SEM micrographs concerning the anatomic morphology showed that the surface after polishing using the composite polisher was much more changed than using other polishing techniques. At the same time, in the overview micrograph the composite polisher revealed most often surfaces of the category Ü-A (80%), while this result was more rarely achieved using the other techniques (15-30%).

The detailed view of the fissure showed that Occlubrush mainly received an assessment of category F-A (89%). However, the assessment of surfaces treated with the composite polisher was only slightly worse (73% for the F-A category). Among the two remaining polishing techniques, only 51% (Diafix oral) resp. 61% (Sof-Lex-Discs) were classified with criterium F-A.

Summarizing the results of both the profilometric and the scanning electron microscope analysis, the conclusion can be drawn, that the two-step composite polishing system left the lowest surface roughness in the profilometric examination. However, at the same time the surface morphology of the restoration was significantly changed by polishing.

The one-step polishing system Occlubrush showed a discrepancy between quantitative and qualitative assessment of the surface roughness. The morphology was intact after polishing. At the same time, the qualitative assessment revealed predominantly smooth surfaces, while the quantitative assessment showed dissatisfying results.

When using diamond-impregnated felt wheels (Diafix-oral), the surface morphology remained mostly unchanged. However, the profilometric results and the qualitative assessment of the roughness proved that no sufficient polishing effectiveness was achieved.

The use of Sof-lex-Discs can not be recommended for anatomically shaped occlusal surfaces, since only the convex and well accessible areas of the restoration could be sufficiently polished.

Consequently, none of the polishing systems could meet all the requirements. Therefore, it is desirable either to optimize one-step polishing systems or to improve multi-step polishing systems which achieve a sufficient polishing effectiveness without destruction of the surface morphology.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Ashe, M.J., Tripp, G.A., Eichmiller, F.C., George, L.A., Meiers, J.C.:  
Surface roughness of glass-ceramic insert-composite restorations: assessing several polishing techniques.  
J Am Dent Assoc 127 (1996), 1495-1500.
2. Ayad, M.F., Rosenstiel, S.F., Hassan, M.M.:  
Surface roughness of dentin after tooth preparation with different rotary instrumentation.  
J Prosthet Dent 75 (1996), 122-128.
3. Baratieri, L.,N., Ritter, A.V., Perdigao, J., Felipe, L.A.:  
Direct posterior composite resin restorations: current concepts for the technique.  
Pract Periodontics Aesthet Dent 10 (1998), 875-886.
4. Baumstieger, M.:  
Untersuchungen über die Wirksamkeit unterschiedlicher Politurverfahren für Hybridkomposite in vitro.  
Medizinische Dissertation, Gießen 1996.
5. Bedran de Castro, A.K., Pimenta, L.A., Amaral, C.M., Ambrosano, G.M.:  
Evaluation of microleakage in cervical margins of various posterior restorative systems.  
J Esthet Restor Dent 14 (2002), 107-114.
6. Berastegui, E., Canalda, C., Brau, E., Miquel, C.:  
Surface roughness of finished composite resins.  
J Prosthet Dent 68 (1992), 742-749.

7. Bessing, C., Wiktorsson, A.:  
Comparison of two different methods of polishing porcelain.  
Scand J Dent Res 91 (1983), 482-487.
8. Boghosian, A.A., Randolph, R.G., Jekkals, V.J.:  
Rotary instrument finishing of microfilled and small-particle hybrid composite resins.  
J Am Dent Assoc 115 (1987), 299-301.
9. Bollen, C.M., Lambrechts, P., Quirynen, M.:  
Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature.  
Dent Mater 13 (1997), 258-269.
10. Busato, A.L., Loguercio, A.D., Reis, A., de Olivera Carrilho, M.R.:  
Clinical evaluation of posterior composite restorations: 6-year results.  
Am J Dent 14 (2001), 304-308.
11. Campbell, S.D.:  
Evaluation of surface roughness and polishing techniques for new ceramic materials.  
J Prosthet Dent 61 (1989), 563-568.
12. Castagnola, L., Wirz, J., Garberoglio, R.:  
Polierbarkeit von Kompositfüllungen.  
Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 89 (1979), 51-56.
13. Chen, R.C.S., Chan, D.C.N., Chan, K.C.:  
A quantitative study of finishing and polishing techniques for a composite.  
J Prosthet Dent 59 (1988), 292-297.

14. Chung, K.:  
Effects of finishing and polishing procedures on the surface texture of resin composites.  
Dent Mater 10 (1994), 325-330.
15. Claman, L.J., Koidis, P.J., Burch, J.G.:  
Proximal tooth surface quality and periodontal probing depth.  
J Am Dent Assoc 113 (1986), 890-893.
16. Cobb, D.S., MacGregor, K.M., Vargas, M.A., Denehy, G.E.:  
The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composites: a comparison.  
J Am Dent Assoc 131 (2000), 1610-1615.
17. David, R.:  
Die Effektivität unterschiedlicher Verfahren zur Ausarbeitung von Kompositfüllungen unter praxisähnlichen Bedingungen.  
Medizinische Dissertation, Gießen 1988.
18. Deliperi, S., Bardwell, D.N.:  
An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations.  
J Am Dent Assoc 133 (2002), 1387-1398.
19. DIN-Normen:  
DIN 4768 Ermittlung der Rauheitskenngrößen  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  mit elektrischen Tastschnittgeräten. Begriffe, Meßbedingungen.  
In: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN Taschenbuch 1. Mechanische Technik. Grundnormen.  
Beuth Verlag GmbH: Berlin, Wien, Zürich 1995, 295-297.

20. Drummond, J.L., Jung, H.; Savers, E.E.; Novickas, D.; Toepke, T.R.S.:  
Surface roughness of polished amalgams.  
Oper Dent 17 (1992), 129-134.
21. Edge, M.J.; Wagner, W.C.:  
Surface cracking identified in polished and self-glazed dental porcelain.  
J Prosthodont 6 (1994), 130-133.
22. Eide, R., Tveit, B.:  
Finishing and polishing of composites.  
Acta Odontol Scand 46 (1988), 307-312.
23. Eifinger, F.F., Wilhelms, K.-G.:  
Möglichkeiten der Oberflächenbearbeitung von Composite-Füllungen.  
Quintessenz 7 (1984), 1289-1299.
24. Feher, A.; Mörmann, W.H.:  
Die Ausarbeitung von Keramikrestorationen mit superfeinen Diamant-  
instrumenten.  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 105 (1995), 474-479.
25. Ferreira Rde, S., Lopes, G.C., Baratieri, L.N.:  
Direct posterior resin composite restorations: considerations on finishing/  
polishing. Clinical procedures.  
Quintessence Int 35 (2004), 359-366.
26. Forss, H., Widström, E.:  
From amalgam to composite: selection of restorative materials and resto-  
ration longevity in Finland.  
Acta Odontol Scand 59 (2001), 57-62.

27. Gladys, S., Van Meerbeek, B., Braem, M., Lambrechts, P., Vanherle, G.:  
Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials.  
J Dent Res 76 (1997), 883-894.
28. Gleghorn, T.:  
Hybrid composites: providing the best for conservative restorations.  
Dent Today 19 (2000), 90-92.
29. Goldstein, G.R., Waknine, S.:  
Surface roughness evaluation of composite resin polishing techniques.  
Quintessence Int 20 (1989), 199-204.
30. Griffin, J.D. Jr.:  
Practical posterior composites. Efficient placement and predictable results.  
Dent Today 22 (2003), 112-117.
31. Hannah, C.M., Smith, G.A.:  
The surface finish of composite restorative materials.  
Br Dent J 135 (1973), 483-488.
32. Haywood, V.B., Heymann, H.O., Kusy, R.P., Whitley, J.Q., Andreas, S.B.:  
Polishing porcelain veneers: an SEM and specular reflectance analysis.  
Dent Mater 4 (1988), 116-121.
33. Heath, J.R., Jordan, J.H., Watts, D.C.:  
The effect of time of trimming on the surface finish of anterior composite resins.  
J Oral Rehabil 20 (1993), 45-52.

34. Herrgott, A.M.L., Ziemięcki, T.L., Dennison, J.B.:  
An evaluation of different composite resin systems finished with various abrasives.  
J Am Dent Assoc 119 (1989), 729-732.
35. Hoelscher, D.C., Neme, A.M.L., Pink, F.E., Hughes, P.J.:  
The effect of three finishing systems on four esthetic restorative materials.  
Oper Dent 23 (1998), 36-42.
36. Hondrum, S.O., Fernandez, R.:  
Contouring, finishing, and polishing class 5 restorative materials.  
Oper Dent 22 (1997), 30-36.
37. Idriss, S., Habib, C., Abduljabbar, T., Omar, R.:  
Marginal adaptation of class II resin composite restorations using incremental and bulk placement techniques: an ESEM study.  
J Oral Rehabil 30 (2003), 1000-1007.
38. Jefferies, S.R., Barkmeier, W.W., Gwinnett, A.J.:  
Three composite finishing systems: a multisite in vitro evaluation.  
J Esthet Dent 4 (1992), 181-185.
39. Jefferies, S.R., Smith, R.L., Barkmeier, W.W., Gwinnett, A.J.:  
Comparison of surface smoothness of restorative resin materials.  
J Esthet Dent 5 (1989) 169-175.
40. Joniot, S.B., Gregoire, G.L., Auther, A.M., Roques, Y.M.:  
Tree-dimensional optical profilometry analysis of surface states obtained after finishing sequences for three composite resins.  
Oper Dent 25 (2000), 311-315.

41. Jung, M.:  
Der Einfluß unterschiedlicher Finierer auf die Kompositoberflächen.  
Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994), 884-888.
42. Jung, M.:  
Vergleichende Oberflächenbearbeitung lichthärtender Glasionomer-Füllungsmaterialien.  
Dtsch Zahnärztl Z 50 (1995), 160-163.
43. Jung, M.:  
Surface roughness and cutting efficiency of composite finishing instruments.  
Oper Dent 22 (1997), 98-104.
44. Jung, M.:  
Ausarbeitung und Politur von laborgefertigten Keramik- und Kompositinlays in-vitro und in-vivo.  
Medizinische Habilitation, Gießen 1998.
45. Jung, M.:  
Ausarbeitung und Politur von zahnfarbenen Füllungswerkstoffen aus Komposit und Keramik.  
DGZ Literaturumschau, Rundschreiben I (2001), 4-6.
46. Jung, M.:  
Finishing and polishing of a hybrid composite and a heat-pressed glass ceramic.  
Oper Dent 27 (2002), 175-183.

47. Jung, M., Baumstieger, M., Klimek, J.:  
Effectiveness of diamond-impregnated felt wheels for polishing a hybrid composite.  
Clin Oral Invest 1 (1997), 71-76.
48. Jung, M., Bruegger, H., Klimek, J.:  
Surface geometry of three packable and one hybrid composite after polishing.  
Oper Dent 28 (2003) 816-824.
49. Jung, M., Voit, S., Klimek, J.:  
Surface geometry of three packable and one hybrid composite after finishing.  
Oper Dent 28 (2003), 53-59.
50. Jung, M., Wehlen, O., Klimek, J.:  
Finishing and polishing of indirect composite and ceramic inlays in-vivo: occlusal surfaces.  
Oper Dent 29 (2004), 131-141.
51. Jung, T., Borchers, L.:  
Schleif- und Poliermittel.  
In: Eichner, K., Kappert, H.-F. (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1. Grundlagen und Verarbeitung.  
Hüthig Verlag, Heidelberg 1996, 373-381.
52. Kaplan, B.A., Goldstein, G.R., Vijayaraghavan, T.V., Nelson, I.K.:  
The effect of three polishing systems on the surface roughness of four hybrid composites: a profilometric and scanning electron microscopy study.  
J Prosthet Dent 76 (1996), 34-38.

53. Karapetian, V.E., Sorg, T., Jöckel, V., Baumann, M.A.:  
Comparison of different polishing systems for dental inlay ceramics.  
In: Mörmann, W.H. (Hrsg.): CAD/CAM in aesthetic dentistry. Cerec 10 year anniversary symposium.  
Quintessence Publishing, Chicago, Berlin 1996, 553-559.
54. Kawai, K., Urano, M.:  
Adherence of plaque components to different restorative materials.  
Oper Dent 26 (2001), 396-400.
55. Kawai, K., Urano, M., Ebisu, S.:  
Effect of surface roughness of porcelain on adhesion of bacteria and their synthesizing glucans.  
J Prosthet Dent 83 (2000), 664-667.
56. Koczarski, M.J., Corredor, A.C.:  
Direct posterior composite restorations: simplified success through a systematic approach.  
Pract Proced Aesthet Dent 14 (2002), 87-94.
57. Krejci, I., Krejci, D., Lutz, F.:  
Clinical evaluation of a new pressed glass ceramic inlay material over 1,5 years.  
Quintessence Int 23 (1992), 181-186.
58. Krejci, I., Lutz, F.:  
Kompositfüllungen – das 1 x 1 des Ausarbeitens.  
Schweiz Mschr Zahnmed 94 (1984), 1015-1028.

59. Krejci, I., Lutz, F., Boretti, R.:  
Resin composite polishing - filling the gaps.  
Dent Mater 30 (1999), 490-495.
60. Kullmann, W.:  
Die Oberflächenbeschaffenheit sog. Hybrid-Komposite.  
Dtsch Zahnärztl Z 40 (1985), 915-921.
61. Kunzelmann, K.H., Hickel, R.:  
Feinpolitur von Cerec-Inlays mit Diamantpoliersystemen.  
Dtsch Zahnärztl Z 43 (1990), 680-682.
62. Leinfelder, K.F.:  
Using composite resin as a posterior restorative material.  
J Am Dent Assoc 122 (1991) 65-70.
63. Loguercio, A.D., Alessandra, R., Mazzocco, K.C., Dias, A.L., Busato, A.L.,  
Singer, J.M., Rosa, P.:  
Microleakage in class II composite resin restorations: total bonding and  
open sandwich technique.  
J Adhes Dent 4 (2002), 137-144.
64. Loguercio, A.D., Bauer, J.R., Reis, A., Rodrigues Filho, L.E., Busato, A.L.:  
Microleakage of a packable composite associated with different materials.  
J Clin Dent 13 (2002), 111-115.
65. Loguercio, A.D., Reis, A., Rodrigues Filho, L.E., Busato, A.L.S.:  
One-year clinical evaluation of posterior packable resin composite restora-  
tions.  
Oper Dent 26 (2001), 427-434.

66. Lu, H., Roeder, L.B., Powers, J.M.:  
Effect of polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites.  
J Esthet Restor Dent 15 (2003), 297-304.
67. Lutz, F., Phillips, R., Roulet, J.F., Imfeld, T.:  
Kompositklassifikation und Wertung.  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 93 (1983), 914-929.
68. Lutz, F., Setcos, J.C., Phillips, R.W.:  
New finishing instruments for composite resins.  
J Am Dent Assoc 107 (1983), 575-580.
69. Marigo, L., Rizzi, M., La Torre, G., Rumi, G.:  
3-D surface profile analysis: different finishing methods for resin composites.  
Oper Dent 26 (2001), 562-568.
70. Martin, N., Jedyakiewicz, N.:  
Surface analysis of Cerec restorations finished by different techniques.  
In: Mörmann, W.H. (Hrsg.): International symposium on computer restorations. The state of the art of the Cerec method. Proceedings.  
Quintessence Publishing, Chicago, Berlin, 1991, 469-479.
71. Milosevic, A.:  
The influence of surface finish and in-vitro pellicle on contact-angle measurement and surface morphology of three commercially available composite restoratives.  
J Oral Rehabil 19 (1992), 85-97.

72. Mitchell, C.A., Pintado, M.R., Douglas, W.H.:  
Iatrogenic tooth abrasion comparisons among composite materials and finishing techniques.  
J Prosthet Dent 88 (2002), 320-328.
73. Miyawaki, H., Taira, M., Yamaki, M.:  
Cutting effectiveness of diamond points on commercial core composite resins and cements.  
J Oral Rehabil 23 (1996), 409-415.
74. Mörmann, W., Lietha-Elmer, E., Meier, C., Lutz, F.:  
Oberflächenanalyse von zwei Kompositfüllungsmaterialien nach unterschiedlicher Feinausarbeitung und Endversiegelung.  
Schweiz Mschr Zahnheilkd 87 (1977), 667-683.
75. Morgan, M.:  
Finishing and polishing of direct posterior resin restorations.  
Pract Proced Aesthet Dent 16 (2004), 211-217.
76. Müller-Lessmann, V.R., Jung, M., Kockapan, C.:  
Oberflächenuntersuchungen an unterschiedlich hergestellten Goldhämmerfüllungen.  
Dtsch Zahnärztl Z 51 (1996), 708-711.
77. Nadarajah, V., Neiders, M.E., Cohen, R.E.:  
Local inflammatory effects of composite resins.  
Comp Contin Educ Dent 18 (1997), 367-368, 370, 372-374.
78. Nash, R.W., Lowe, R.A., Leinfelder, K.:  
Using packable composites for direct posterior placement.  
J Am Dent Assoc 132 (2001), 1099-1104.

79. Northeast, S.E., van Noort, R.:  
Surface characteristics of finished posterior composite resins.  
Dent Mater 4 (1988), 278-288.
80. Ozgunaltay, G., Yazici, A.R., Gorucu, J.:  
Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of  
new tooth-coloured restoratives.  
J Oral Rehabil 30 (2003), 218-224.
81. Patterson, C.J.W., McLundie, A.C., Stirrups, D.R., Taylor, W.G.:  
Efficacy of a porcelain refinishing system in restoring surface finish after  
grinding with fine and extra-fine diamond burs.  
J Prosthet Dent 68 (1992), 402-406.
82. Pedrini, D., Candido, M.S., Rodrigues, A.L.:  
Analysis of surface roughness of glass-ionomer cements and compomer.  
J Oral Rehabil 30 (2003), 714-719.
83. Peutzfeldt, A., Asmussen, E.:  
Composite restorations: influence of flowable and self-curing resin com-  
posite linings on microleakage in vitro.  
Oper Dent 27 (2002), 569-575.
84. Peutzfeldt, A., Junggreen, L.:  
Effect of procedure on diametral tensile strength of composite resin.  
Scand J Dent Res 100 (1992), 181-183.
85. Pratten, D.H., Johnson, G.H.:  
An evaluation of finishing instruments for an anterior and a posterior com-  
posite.  
J Prosthet Dent 60 (1988), 154-158.

86. Rapisarda, E., Bonaccorso, A., Tripi, T.R., Torrisi, L.:  
Comparison of different finishing methods for composites and com-  
pomers. Profilometric analysis.  
Minerva Stomatol 48 (1999), 181-189.
87. Reis, A.F., Giannini, M., Lovadino, J.R., dos Santos Dias, C.T.:  
The effect of six polishing systems on the surface roughness of two pack-  
able resin-based composites.  
Am J Dent 15 (2002), 193-197.
88. Roeder, L.B., Tate, W.H., Powers, J.M.:  
Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of  
packable composites.  
Oper Dent 25 (2000), 534-543.
89. Rosen, M., Grossman, E.S., Cleaton-Jones, P.E., Volchansky, A.:  
Surface roughness of aesthetic restorative materials: an in vitro compari-  
son.  
SADJ 56 (2001), 316-320.
90. Roulet, J.F.:  
Benefits and disadvantages of tooth-coloured alternatives to amalgam.  
J Dent 25 (1997), 459-473.
91. Saltzberg, D.S., Ceravolo, F.J., Holstein, F., Groom, G., Gottsegen, R.:  
Scanning electron microscope study of the junction between restorations  
and gingival cavosurface margins.  
J Prosthet Dent 36 (1976), 517-522.

92. Schmid, O., Krejci, I., Lutz, F.:  
Ausarbeitung von adhäsiven zahnfarbenen Inlays aus Komposit und Keramik.  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 101 (1991), 177-184.
93. Setcos, J.C., Tarim, B., Suzuki, S.:  
Surface finish produced on resin composites by new polishing systems.  
Quintessence Int 30 (1999), 169-173.
94. Shafagh, I.:  
Plaque accumulation on cast gold complete crowns polished by a conventional and an experimental method.  
J Prosthet Dent 55 (1986), 339-342.
95. Small, B.W.:  
Direct resin composites for 2002 and beyond.  
Gen Dent 50 (2002), 30-33.
96. Small, K.L., Goldfogel, M.H., Newman, S.M.:  
Effectiveness of reciprocal-action instrumentation for polishing composite resin: an in vitro study.  
J Esthet Dent 4 (1992), 208-215.
97. Stoddard, J.W., Johnson, G.H.:  
An evaluation of polishing agents for composite resins.  
J Prosthet Dent 65 (1991), 491-495.
98. Tate, W.H., DeSchepper, E.J., Cody, T.:  
Quantitative analysis of six composite polishing techniques on a hybrid composite material.  
J Esthet Dent 4 (1992), 30-32.

99. Tate, W.H., Powers, J.M.:  
Surface roughness of composites and hybrid ionomers.  
Oper Dent 21 (1996), 53-58.
100. Tjan, A.H.L., Chan, C.A.:  
The polishability of posterior composites.  
J Prosthet Dent 61 (1989), 138-146.
101. Turkun, L.S., Turkun, M.:  
The effect of one-step polishing system on the surface roughness of three  
esthetic resin composite materials.  
Oper Dent 29 (2004), 203-211.
102. van Dijken, J.W.V., Meurman, J.H., Järvinen, J.:  
Effect of finishing procedures on surface textures of some resin restora-  
tives.  
Acta Odontol Scand 38 (1980), 293-301.
103. Venz, S.:  
Optische und profilometrische Untersuchung zur Politur und Oberflächen-  
glätte von Komposits.  
Zahnärztliche Welt 92 (1983) 31-37.
104. Ward, M.T., Tate, W.H., Powers, J.M.:  
Surface roughness of opalescent porcelains after polishing.  
Oper Dent 20 (1995), 106-110.
105. Warren, J.R., Clark, N.P.:  
Posterior composite resin: Current trends in restorative techniques. Part 2:  
Insertion, finishing, and polishing.  
Gen Dent 35 (1985), 497-499.

106. Whitehead, S.A., Wilson, N.H.F.:  
The nature and effects of composite finishing pastes.  
J Dent 17 (1989), 133-137.
107. Wibowo, G., Stockton, L.:  
Microleakage of Class II composite restorations.  
Am J Dent 14 (2001), 177-185.
108. Willems, G., Lambrechts, P., Braem, M., Vuylsteke-Wauters, M., Vanherle, G.:  
The surface roughness of enamel-to-enamel contact areas compared with the intrinsic roughness of dental resin composites.  
J Dent Res 70 (1991), 1299-1305.
109. Wilson, F., Heath, J.R., Watts, D.C.:  
Finishing composite restorative materials.  
J Oral Rehabil 17 (1990), 79-87.
110. Wirz, J., Amberg, A., Schmidli, F.:  
Polierbarkeit nicht metallischer Werkstoffe.  
Quintessenz 44 (1993), 1685-1695.
111. Wirz, J., Jäger, K., Schmidli, F.:  
Politur von Keramik-Oberflächen.  
Schweiz Mschr Zahnmed 97 (1987), 906-912.
112. Xu, H.H.K., Kelly, J.R., Jahanmir, S., Thompson, V.P., Rekow, E.D.:  
Enamel subsurface damage due to tooth preparation with diamonds.  
J Dent Res 76 (1997), 1698-1706.

113. Yap, A.U., Mok, B.Y.:  
Surface finish of a new hybrid aesthetic restorative material.  
*Oper Dent* 27 (2002), 161-166.
  
114. Yap, A.U., Wong, M.L., Lim, A.C.:  
The effect of polishing systems on microleakage of tooth-coloured restoratives. Part 2: Composite and polyacid-modified composite resin.  
*J Oral Rehabil* 27 (2000), 205-210.
  
115. Yap, A.U., Yap, S.H., Teo, C.K., Ng, J.J.:  
Comparison of surface finish of new aesthetic restorative materials.  
*Oper Dent* 29 (2004), 100-104.
  
116. Yap, A.U., Yap, W.Y., Yeo, E.J., Tan, J.W., Ong, D.S.:  
Effects of finishing/polishing techniques on microleakage of resin-modified glass ionomer cement restorations.  
*Oper Dent* 28 (2003), 36-41.
  
117. Zalkind, M.M., Keisar, O., Ever-Hadani, P., Grinberg, R., Sela, M.N.:  
Accumulation of *Streptococcus mutans* on light-cured composites and amalgam: an in vitro study.  
*J Esthet Dent* 10 (1998), 187-190.

## 9 Anhang

### 9.1 Tabellarische Darstellung der profilometrischen Untersuchung

MW = Mittelwert

$R_{\max}$  = maximale Rautiefe in  $\mu\text{m}$

$R_z$  = gemittelte Rautiefe in  $\mu\text{m}$

$R_a$  = arithmetischer Mittenrauwert in  $\mu\text{m}$

Nr.	Methode	Polierer	$R_{\max}$	$R_z$	$R_a$
1	1	Sof-Lex-Disks	7,6	4,6	1,1
2	1	Sof-Lex-Disks	21,9	9,2	2,1
3	1	Sof-Lex-Disks	11,0	6,1	1,5
4	1	Sof-Lex-Disks	25,0	12,5	3,2
5	1	Sof-Lex-Disks	31,1	12,7	2,9
6	1	Sof-Lex-Disks	22,7	9,8	2,3
7	1	Sof-Lex-Disks	18,9	10,2	2,5
8	1	Sof-Lex-Disks	24,1	13,7	2,3
9	1	Sof-Lex-Disks	18,6	8,8	2,0
10	1	Sof-Lex-Disks	12,2	6,3	1,4
11	1	Sof-Lex-Disks	23,8	8,9	2,1
12	1	Sof-Lex-Disks	21,1	9,0	1,9
13	1	Sof-Lex-Disks	19,2	7,9	2,0
14	1	Sof-Lex-Disks	10,4	6,5	1,7
15	1	Sof-Lex-Disks	7,6	3,7	1,2
16	1	Sof-Lex-Disks	12,4	8,2	1,6
17	1	Sof-Lex-Disks	8,7	4,3	1,1
18	1	Sof-Lex-Disks	15,6	7,0	1,8
19	1	Sof-Lex-Disks	25,9	13,2	2,9
20	1	Sof-Lex-Discs	17,3	9,3	2,5
<b>MW</b>			<b>17,8</b>	<b>8,6</b>	<b>2,0</b>

Nr.	Methode	Polierer	$R_{\max}$	$R_z$	$R_a$
21	2	Diafix-oral	40,7	13,8	2,5
22	2	Diafix-oral	27,2	13,2	2,3
23	2	Diafix-oral	25,9	10,1	2,2
24	2	Diafix-oral	14,5	6,1	1,7
25	2	Diafix-oral	19,6	9,8	2,6
26	2	Diafix-oral	19,0	9,4	2,5
27	2	Diafix-oral	32,5	11,5	2,5
28	2	Diafix-oral	18,2	11,2	2,9
29	2	Diafix-oral	26,9	9,5	1,9
30	2	Diafix-oral	43,2	11,6	2,8
31	2	Diafix-oral	27,7	12,8	3,3
32	2	Diafix-oral	20,9	10,5	2,7
33	2	Diafix-oral	15,9	8,9	2,0
34	2	Diafix-oral	30,2	11,6	2,5
35	2	Diafix-oral	22,1	8,4	1,8
36	2	Diafix-oral	18,0	10,0	2,5
37	2	Diafix-oral	9,4	4,5	1,3
38	2	Diafix-oral	26,4	11,4	2,8
39	2	Diafix-oral	14,3	7,5	1,5
40	2	Diafix-oral	24,6	12,2	3,1
<b>MW</b>			<b>23,9</b>	<b>10,2</b>	<b>2,4</b>
41	3	Shofu-Polierer	6,6	3,4	1,0
42	3	Shofu-Polierer	7,2	3,9	1,3
43	3	Shofu-Polierer	7,9	5,0	1,3
44	3	Shofu-Polierer	9,3	5,1	1,3
45	3	Shofu-Polierer	15,4	6,7	1,6
46	3	Shofu-Polierer	21,8	9,2	2,1
47	3	Shofu-Polierer	5,5	3,9	1,1
48	3	Shofu-Polierer	8,7	5,6	1,8
49	3	Shofu-Polierer	17,7	7,5	1,9
50	3	Shofu-Polierer	9,3	5,8	1,4
51	3	Shofu-Polierer	12,7	6,1	1,8
52	3	Shofu-Polierer	7,8	4,5	1,2

Nr.	Methode	Polierer	R <sub>max</sub>	R <sub>z</sub>	R <sub>a</sub>
53	3	Shofu-Polierer	13,4	9,7	2,0
54	3	Shofu-Polierer	14,2	7,6	1,9
55	3	Shofu-Polierer	17,5	6,0	1,5
56	3	Shofu-Polierer	8,0	4,2	1,1
57	3	Shofu-Polierer	9,3	4,5	1,3
58	3	Shofu-Polierer	5,6	4,0	1,3
59	3	Shofu-Polierer	32,9	10,9	2,5
60	3	Shofu-Polierer	17,2	8,1	1,9
<b>MW</b>			<b>12,4</b>	<b>6,1</b>	<b>1,6</b>
61	4	Occlubrush	16,6	8,9	2,1
62	4	Occlubrush	23,2	12,4	2,5
63	4	Occlubrush	23,5	10,5	2,4
64	4	Occlubrush	17,8	9,5	2,6
65	4	Occlubrush	20,3	8,9	2,4
66	4	Occlubrush	10,2	5,6	1,4
67	4	Occlubrush	10,0	5,3	1,5
68	4	Occlubrush	23,2	8,7	2,0
69	4	Occlubrush	25,1	13,1	2,8
70	4	Occlubrush	15,7	10,0	2,4
71	4	Occlubrush	27,7	9,0	2,2
72	4	Occlubrush	6,8	4,0	1,1
73	4	Occlubrush	19,1	9,4	2,2
74	4	Occlubrush	39,8	11,3	2,7
75	4	Occlubrush	9,6	4,5	1,2
76	4	Occlubrush	28,3	11,3	2,4
77	4	Occlubrush	20,2	11,1	2,3
78	4	Occlubrush	21,2	11,1	2,3
79	4	Occlubrush	29,4	13,7	2,6
80	4	Occlubrush	25,9	12,7	2,7
<b>MW</b>			<b>20,7</b>	<b>9,6</b>	<b>2,2</b>

## 9.2 Prüfstatistische Auswertung der Ergebnisse der profilometrischen Untersuchung

Vergleich der Bearbeitungsmethoden 1-4 (einfache ANOVA mit Anschlussstest nach Scheffé)

Methode	4			3			2		
	R <sub>max</sub>	R <sub>z</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>max</sub>	R <sub>z</sub>	R <sub>a</sub>	R <sub>max</sub>	R <sub>z</sub>	R <sub>a</sub>
1	0,685	0,712	0,733	0,179	0,029	0,072	0,098	0,283	0,180
2	0,623	0,888	0,749	0,000	0,000	0,000			
3	0,011	0,001	0,004						

## 9.3 Tabellarische Darstellung der rasterelektronenmikroskopischen Auswertung

Häufigkeit der Zuordnung zu den Kriterien F-A, F-B und F-C anhand von Detailaufnahmen mit 20 Planquadraten; jedes Planquadrat wird einem Kriterium zugeordnet.

Nr.	Methode	Polierer	Anzahl der Flächen pro Kriterium		
			F-A	F-B	F-C
1	1	Sof-Lex-Disks	13	2	5
2	1	Sof-Lex-Disks	8	9	3
3	1	Sof-Lex-Disks	17	3	0
4	1	Sof-Lex-Disks	7	5	8
5	1	Sof-Lex-Disks	7	6	7
6	1	Sof-Lex-Disks	16	2	2
7	1	Sof-Lex-Disks	15	2	3
8	1	Sof-Lex-Disks	10	9	1
9	1	Sof-Lex-Disks	12	6	2
10	1	Sof-Lex-Disks	14	6	0

Nr.	Methode	Polierer	Anzahl der Flächen pro Kriterium		
			F-A	F-B	F-C
11	1	Sof-Lex-Disks	14	6	0
12	1	Sof-Lex-Disks	8	9	3
13	1	Sof-Lex-Disks	6	5	9
14	1	Sof-Lex-Disks	3	9	8
15	1	Sof-Lex-Disks	19	1	0
16	1	Sof-Lex-Disks	17	3	0
17	1	Sof-Lex-Disks	15	5	0
18	1	Sof-Lex-Disks	20	0	0
19	1	Sof-Lex-Disks	13	4	3
20	1	Sof-Lex-Disks	11	6	3
<b>Summe</b>			<b>245</b>	<b>98</b>	<b>57</b>
21	2	Diafix-oral	8	7	5
22	2	Diafix-oral	14	5	1
23	2	Diafix-oral	9	10	1
24	2	Diafix-oral	11	5	4
25	2	Diafix-oral	2	11	7
26	2	Diafix-oral	12	6	2
27	2	Diafix-oral	13	4	3
28	2	Diafix-oral	6	2	12
29	2	Diafix-oral	18	2	0
30	2	Diafix-oral	10	5	5
31	2	Diafix-oral	9	11	0
32	2	Diafix-oral	8	7	5
33	2	Diafix-oral	7	6	7
34	2	Diafix-oral	7	7	6
35	2	Diafix-oral	2	13	5
36	2	Diafix-oral	9	8	3
37	2	Diafix-oral	20	0	0
38	2	Diafix-oral	13	6	1
39	2	Diafix-oral	13	5	2
40	2	Diafix-oral	11	5	4
<b>Summe</b>			<b>202</b>	<b>125</b>	<b>73</b>

Nr.	Methode	Polierer	Anzahl der Flächen pro Kriterium		
			F-A	F-B	F-C
41	3	Shofu-Polierer	18	2	0
42	3	Shofu-Polierer	11	9	0
43	3	Shofu-Polierer	13	7	0
44	3	Shofu-Polierer	16	0	4
45	3	Shofu-Polierer	18	2	0
46	3	Shofu-Polierer	20	0	0
47	3	Shofu-Polierer	16	2	2
48	3	Shofu-Polierer	13	6	1
49	3	Shofu-Polierer	12	5	3
50	3	Shofu-Polierer	15	4	1
51	3	Shofu-Polierer	19	1	0
52	3	Shofu-Polierer	13	7	0
53	3	Shofu-Polierer	9	8	3
54	3	Shofu-Polierer	15	4	1
55	3	Shofu-Polierer	7	12	1
56	3	Shofu-Polierer	18	2	0
57	3	Shofu-Polierer	17	3	0
58	3	Shofu-Polierer	17	3	0
59	3	Shofu-Polierer	11	2	7
60	3	Shofu-Polierer	16	4	0
<b>Summe</b>			<b>294</b>	<b>83</b>	<b>23</b>
61	4	Occlubrush	12	3	5
62	4	Occlubrush	15	4	1
63	4	Occlubrush	13	5	2
64	4	Occlubrush	14	6	0
65	4	Occlubrush	14	6	0
66	4	Occlubrush	16	4	0
67	4	Occlubrush	18	2	0
68	4	Occlubrush	16	4	0
69	4	Occlubrush	16	4	0
70	4	Occlubrush	17	2	1

Nr.	Methode	Polierer	Anzahl der Flächen pro Kriterium		
			F-A	F-B	F-C
71	4	Occlubrush	17	3	0
72	4	Occlubrush	20	0	0
73	4	Occlubrush	14	4	2
74	4	Occlubrush	16	4	0
75	4	Occlubrush	17	3	0
76	4	Occlubrush	17	2	1
77	4	Occlubrush	17	3	0
78	4	Occlubrush	20	0	0
79	4	Occlubrush	20	0	0
80	4	Occlubrush	16	4	0
<b>Summe</b>			<b>325</b>	<b>63</b>	<b>12</b>

## 10 Danksagung

Herrn Prof. J. Klimek möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die vorzügliche Betreuung danken.

Mein besonderer Dank gebührt PD Dr. M. Jung, der eine große Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und der prüfstatistischen Auswertung und außerdem mit zahlreichen wertvollen Anregungen behilflich war.

Mein Dank gilt ferner Herrn Bethge für die Unterstützung bei der Entwicklung der REM-Bilder sowie Herrn Magdowsky und Frau Mayer bei der Durchführung der REM-Aufnahmen.

Nicht zuletzt möchte ich meinem Ehemann und Kollegen Dr. Marc Baumstieger danken, der beim Erstellen und Korrigieren der Arbeit eine wertvolle Hilfe war.

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.