

# **Vergleich der Hand- und Apparaturbearbeitung bei temporären Kronen- und Brückenwerkstoffen**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Winkler, Gero

aus Bergisch Gladbach

Gießen 2011

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

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

der Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH

Standort Gießen

Direktor: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: PD Dr. S. Reich

Tag der Disputation: 12.09.2011

*Meinen Eltern gewidmet*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>2 WERKSTOFFKUNDLICHE HINTERGRÜNDE UND ANFORDERUNGEN AN TEMPORÄRE K&amp;B-WERKSTOFFE.....</b>	<b>8</b>
2.1 Werkstoffe zur Herstellung temporärer Versorgungen .....	8
2.1.1 Pulver/Flüssigkeitssysteme .....	8
2.1.2 Composite-Werkstoffe .....	9
2.1.3 Vergleich der Materialeigenschaften .....	10
2.2 Abbindemechanismus der temporären K&B-Werkstoffe .....	12
2.3 Herstellung temporärer Versorgungen .....	14
2.4 Aufgaben einer temporären Versorgung .....	17
2.5 Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe .....	19
2.5.1 Klinische Anforderungen .....	19
2.5.2 Verarbeitungsbezogene Anforderungen.....	20
2.5.3 Mechanische Eigenschaften .....	22
<b>3 OBERFLÄCHENBEARBEITUNG VON TEMPORÄREN K&amp;B-WERKSTOFFEN.....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Fräsen und Schleifen .....	23
3.1.2 Polieren.....	24
3.2 Bedeutung der Oberflächenbearbeitung für K&B-Werkstoffe in der Mundhöhle	26
3.3 Möglichkeiten zur Bestimmung der Rauheit.....	29
3.4 Fazit .....	33
<b>4 ZIEL DER ARBEIT .....</b>	<b>34</b>

<b>5 MATERIAL UND METHODE.....</b>	<b>35</b>
5.1 Rahmenbedingungen .....	35
5.2 Geprüfte Werkstoffe .....	35
5.3 Durchführung der Versuche .....	37
5.3.1 Prüfkörperform.....	37
5.3.2 Herstellung der Prüfkörper.....	37
5.3.3 Vorversuche .....	39
5.3.4 Lagerung der Prüfkörper .....	40
5.3.5 Apparatur.....	40
5.3.6 Oberflächenbearbeitung .....	40
Bestimmung der Rauheit .....	44
5.3.7 Profilometer.....	44
5.3.8 Erfassung der Daten .....	45
5.4 Statistische Analyse .....	45
<b>6 ERGEBNISSE.....</b>	<b>46</b>
6.1 Hauptzielkriterium.....	46
6.2 Nebenzielkriterien.....	48
6.3 Protemp™ 4.....	49
6.3.1 Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer <sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer <sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel .....	49
6.3.2 Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer <sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel .....	51
6.3.3 Bearbeitungsreihe: Wollschwabbel.....	52
6.4 Luxatemp Automix Solar .....	54

6.4.1 Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer <sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer <sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel .....	54
6.4.2 Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer <sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel .....	56
6.4.3 Bearbeitungsreihe: Wollschwabbel.....	58
6.5 Dentalon Plus.....	59
6.5.1 Bearbeitungsreihe: Silikonpapier <sup>(grob)</sup> + Silikonpapier <sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel.....	59
6.5.2 Bearbeitungsreihe Silikonpolierer <sup>(grob)</sup> + Wollschwabbel .....	61
6.5.3 Bearbeitungsreihe: Wollschwabbel.....	62
6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	65
6.6.1 Protemp™ 4 .....	65
6.6.2 Luxatemp Automix Solar .....	66
6.6.3 Dentalon Plus .....	66
<b>7 DISKUSSION.....</b>	<b>67</b>
7.1 Versuchsaufbau.....	67
7.1.1 Hauptzielkriterium .....	69
7.1.2 Nebenzielkriterien .....	70
7.2 Schlussfolgerung.....	74
<b>8 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>75</b>
<b>9 SUMMARY .....</b>	<b>76</b>
<b>10 LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>77</b>
<b>11 ANHANG.....</b>	<b>85</b>
11.1 Bestimmung der Bearbeitungszeit.....	85
11.2 Boxplots des arithmetischen Mittenrauwertes.....	86

11.2.1 Protemp™ 4.....	86
11.2.2 Luxatemp Automix Solar .....	88
11.2.3 Dentalon Plus.....	89
<b>12 ERKLÄRUNG .....</b>	<b>91</b>
<b>13 DANKSAGUNG.....</b>	<b>92</b>
<b>14 LEBENSLAUF .....</b>	<b>93</b>

# 1 Einleitung

Die temporäre Versorgung präparierter Zähne ist ein wesentlicher Bestandteil der prothetischen Therapie, da sich die Restauration von indirekt hergestelltem Zahnersatz nur über mehrere Behandlungssitzungen hinweg realisieren lässt.<sup>25, 37, 48, 50, 68, 98, 115, 116</sup> Es können folglich zwischen der Abformung des Zahnes und dem Einsetzen der definitiven Versorgung mehrere Tage bis Wochen vergehen. Die Versorgung präparierter Zähne mit einer temporären Versorgung während der Behandlungssitzungen ist notwendig, weil freiliegende Dentinbereiche nach der Präparation eine „Wunde“ darstellen.<sup>47, 48, 63, 76, 79, 119</sup>

Durch den präparationsbedingten Substanzabtrag steigt die Gefahr einer Pulpenschädigung durch die Einwirkung schädigender Noxen, denn mit der Abnahme der Hartsubstanzdicke steigt die Anzahl und Ausdehnung der angeschnittenen Odontoblastenfortsätze.<sup>47, 50, 76, 115, 119</sup> Weitere Gründe für eine temporäre Versorgung sind die Stabilisation der Position des beschliffenen Zahnes und der Erhalt bzw. die Wiederherstellung der Kaufunktion. Darüber hinaus lassen sich das ästhetische Erscheinungsbild sowie die phonetische Funktion der späteren definitiven Restauration durch eine temporäre Versorgung prüfen.<sup>51, 65, 98</sup> Weiterhin ist es möglich, im Sinne einer exspektativen Diagnostik, temporäre Versorgungen über einen längeren Zeitraum tragen zu lassen, um z.B. die Resultate parodontaler und endodontischer Therapien zu bewerten und damit die Prognose des Zahnes abzuschätzen.<sup>65, 73</sup> Um bei längerer Tragezeit einen komplikationslosen Ablauf insbesondere eine optimale parodontale Gesundheit zu gewährleisten, sollte die temporäre Versorgung einen guten marginalen Randschluss haben, angemessen konturiert sein und insbesondere eine geringe Oberflächenrauheit besitzen.<sup>91, 102</sup>

Insgesamt müssen daher an eine temporäre Versorgung die gleichen Anforderungen wie an eine definitive Versorgung gestellt werden. Beide Versorgungen unterscheiden sich lediglich durch die Art des eingesetzten Werkstoffes sowie durch die avisierte Tragedauer.<sup>4, 25, 68, 102, 114</sup>

Die Oberflächenrauheit ist bei einer definitiven Versorgung, wie auch bei einer temporären Versorgung ein entscheidender Qualitätsfaktor. Eine geringe Oberflächenrauheit erleichtert die Mundhygiene, da sie nur wenig Retention für Nahrungsrückstände, Epithelzellen und Bakterien bietet. Dadurch wird das Risiko der Plaqueformation reduziert und das parodontale Gewebe vor negativen Effekten geschützt.<sup>20, 53, 69, 86, 87, 98, 116, 119</sup>



Aus diesen Gründen sollten möglichst Versorgungen mit einer geringen Oberflächenrauheit in den Mund eingebracht werden, um einer Entstehung von Karies und Parodontopathien vorzubeugen.<sup>87</sup> Dabei ist anzumerken, dass die Qualität der Oberflächenrauheit von temporären Kronen- und Brückenwerkstoffen (K&B-Werkstoffe) maßgeblich von der Art der Oberflächenbearbeitung und der Politur abhängt.<sup>53, 111, 120</sup>

Bisher ist aus der Literatur nur wenig über den Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Qualität der Oberfläche bekannt.<sup>18, 52, 75, 97</sup> Insbesondere ist nicht klar, in wieweit die in der Praxis übliche manuelle Ausarbeitung der temporären Versorgung, die naturgemäß in der Abhängigkeit vom Behandler, der von ihm verwendeten Ausarbeitungsmethodik und Instrumente, erheblichen Schwankungen unterliegt, durch ein standardisiertes semiautomatisches Verfahren im Labor nachgestellt werden kann.

## 2 Werkstoffkundliche Hintergründe und Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe

Wichtig zum Verständnis der klinischen Aspekte und Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe sind Kenntnisse der werkstoffkundlichen Hintergründe sowie der Verarbeitung dieser Werkstoffe. Daher werden diese Punkte im folgenden Abschnitt näher erläutern.

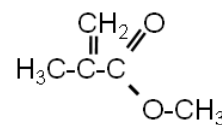
### 2.1 Werkstoffe zur Herstellung temporärer Versorgungen

Grundsätzlich können bei den temporären K&B-Werkstoffen zwei Gruppen unterschieden werden: Es gibt zum einen die Mono-Methacrylate (MMA/PMMA-Werkstoffe) und zum anderen die Di-Methacrylate (mehrfunktionelle Methacrylate). Beide Werkstoffgruppen lassen sich bezüglich der chemischen Zusammensetzung, der Herstellung, der Abbindereaktion und der physikalischen Eigenschaften unterscheiden.

#### 2.1.1 *Pulver/Flüssigkeitssysteme*

Pulver/Flüssigkeitssysteme wurden zuerst für die Herstellung von Totalprothesen verwendet, erst später wurde der Anwendungsbereich auf die Herstellung temporärer Versorgungen ausgedehnt. Weiterentwickelte Pulver/Flüssigkeitsverfahren bilden bis heute das Mittel der Wahl bei der Herstellung von herausnehmbarem Zahnersatz. Zudem ist es wichtig zu wissen, dass MMA/PMMA-Werkstoffe den chemisch Ursprung der heutigen Verbundwerkstoffe (Composite) bilden.

In den 30iger Jahren des 20. Jahrhunderts erhielten die Pulver/Flüssigkeitssysteme auf der Basis von Methacrylaten Einzug in den Bereich der Zahnmedizin. Die Möglichkeit, Prothesen fortan aus Methacrylaten herzustellen, geht auf die Forschungsarbeit von Otto Röhm zurück, der 1928 erstmals die Synthese des Methyl-Methacrylates durchgeführte.<sup>57</sup> Durch weitere Spezifizierungen konnte das zunächst auf Heißpolymerisation entwickelte Verfahren um selbsthärtende Verfahren ergänzt werden, welches die Anwendung erheblich vereinfachte.<sup>41</sup>



**Abb. 2.1:** Struktur von Methyl-Methacrylat

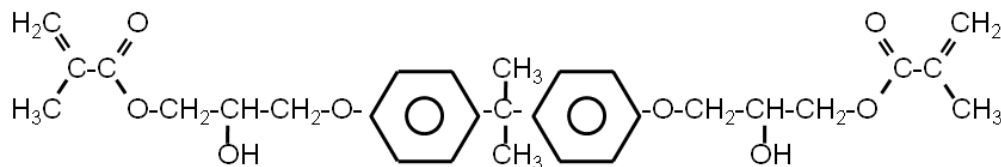
In der Regel sind die Monomere der MMA/PMMA-Werkstoffe monofunktionell, das bedeutet, dass die Makromoleküle keine Quervernetzungen ausbilden. Ein Zusammen-

halt der Makromoleküle entsteht dadurch nur durch eine Vielzahl sekundärer Wechselwirkungen (van-der-Waals-Kräfte).<sup>90</sup>

### 2.1.2 Composite-Werkstoffe

Gängige Werkstoffe zur Herstellung von temporären Versorgungen sind temporäre K&B-Werkstoffe auf der Basis von Compositen. Diese Werkstoffe leiten sich im chemischen Aufbau von den direkten Restaurationswerkstoffen ab,<sup>25, 65</sup> die in der konservierenden Zahnheilkunde zur Versorgung von Zahnhartsubstanzdefekten verwendet werden.

Composite sind Verbundwerkstoffe, deren Grundaufbau eine Matrix aus multifunktionalen Monomeren bildet, an der über eine Haftverbundschicht die chemischen Füllstoffe gebunden sind.<sup>4, 57</sup> Ein häufig verwendetes Monomere zum Aufbau der Matrix ist Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat (Bis-GMA), welches 1962 von Bowen als Additionsprodukt eines Epoxidharzes und der Methacrylsäure entwickelt wurde.<sup>54</sup>



**Abb. 2.2:** Struktur von Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat (Bis-GMA)

Diese Monomere bilden durch kovalente Querverbindungen ein dreidimensionales Netzwerk, welches zu einer Verstärkung der mechanischen Eigenschaften führt. Um eine Kopplung zwischen dem dreidimensionalen Netzwerk der Matrix und den Füllstoffen zu ermöglichen, erhalten diese eine organophile Schicht (Silanisierung).

**Tabelle 2.1:** Werkstoffe zur temporären Versorgung

<b>Werkstoff</b>	<b>Chemische Grundlage</b>	<b>Zusammensetzung</b>
Pulver/ Flüssigkeitssysteme	Methyl-Methacrylate	Pulver: PMMA Flüssigkeit: MMA Initiator: Amin-/Peroxid-Basis
	Höhermolekulare Mono- Methacrylate	Pulver: PEMA oder MMA Flüssigkeit: n-(iso) Butylmethacrylat oder Mischung aus MMA und n- Hexyl-Methacrylat Initiator: Barbitursäure-Basis oder Amin-/Peroxid-Basis
2-Komponenten- Pastesysteme (Composite- Werkstoffe)	Di- oder mehrfunktionel- le Methacrylate	Basispaste: Bisphenol-A (Bis- GMA), Urethandimethacrylat (UDMA), Triethylenglykoldi- methacrylat (TEGDMA) Initiator (selbsthärtend): Peroxid oder Barbiturat Füllstoffe: z.B. 40 % Kieselsäure, anorg. Füller, Barium- Glas

### 2.1.3 Vergleich der Materialeigenschaften

Grundsätzlich lassen sich die verschiedenen Materialeigenschaften durch den unterschiedlichen chemischen Aufbau bzw. die Zusammensetzung der beiden Werkstoffe begründen. Zudem hat der Anmischvorgang einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften der Werkstoffe. Im weiteren Text soll nun auf wichtige materialtypische Eigenschaften eingegangen werden.

Grundsätzlicher Unterschied zwischen beiden Werkstoffen ist, dass die MMA/PMMA-Werkstoffe monofunktionelle- und Composite-Werkstoffe mehrfunktionelle Monomere beinhalten. Das hat zur Folge, dass Composite-Werkstoffe durch die Bildung der kovalenten Quervernetzungen eine höhere mechanische Festigkeit aufweisen.<sup>57</sup> Zudem ist aufgrund des höheren Molekulargewichtes der Monomere die Polymerisationskontraktion geringer.<sup>4</sup> Zusätzlich kommt es durch die Füllstoffe zu einer Verstärkung der mechanischen Eigenschaften (E-Modul, Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit, Sprödigkeit, etc.) der Composite.

Zu den Vorteilen der MMA/PMMA-Werkstoffe gehört die Möglichkeit nachträglich Material anzutragen, um somit die Neuanfertigung einer Versorgung durch eine Reparatur zu umgehen. Zudem bieten ungefüllte Mono-Methacrylate aufgrund der fehlenden Füllstoffe einen Vorteil bei der Politur, da ein gleichmäßiger Substanzabtrag erfolgt.<sup>18, 52, 97</sup>

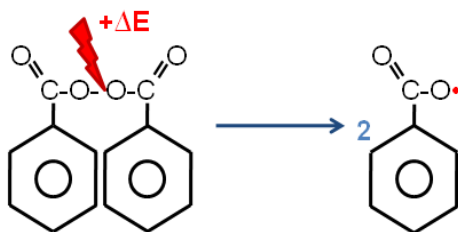
Unterschiede gibt es auch bei den Anmischverfahren der beiden Werkstoffe. MMA/PMMA-Werkstoffe werden im Pulver/Flüssigkeitsverfahren angemischt. Dieses Verfahren führt leicht zu Dosier- oder Anmischfehlern, die sich negativ auf die Qualität der fertigen Versorgung auswirken. Composite hingegen sind als Paste/Paste-System erhältlich, was die Anwendung erheblich vereinfacht, da sie weitgehend homogene Kunststoffe ergeben, wenn sie bereits porenfrei hergestellt wurden.<sup>115</sup> Zudem zeigen Di-Methacrylate eine geringere exotherme Reaktion beim Abbinden als MMA/PMMA-Werkstoffe.<sup>30</sup> Die Differenzierung zwischen verschiedenen Abbindevorgängen der Werkstoffe ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Während die MMA/PMMA-Werkstoffe ausschließlich selbsthärtend abbinden, so sind die Composite-Werkstoffe sowohl chemisch- als auch dualhärtend.

Insgesamt zeigen sich die Composite-Werkstoffe in vielen Bereichen den MMA/PMMA-Werkstoffen überlegen, außer im Bereich der Oberflächenbearbeitung.

## 2.2 Abbindemechanismus der temporären K&B-Werkstoffe

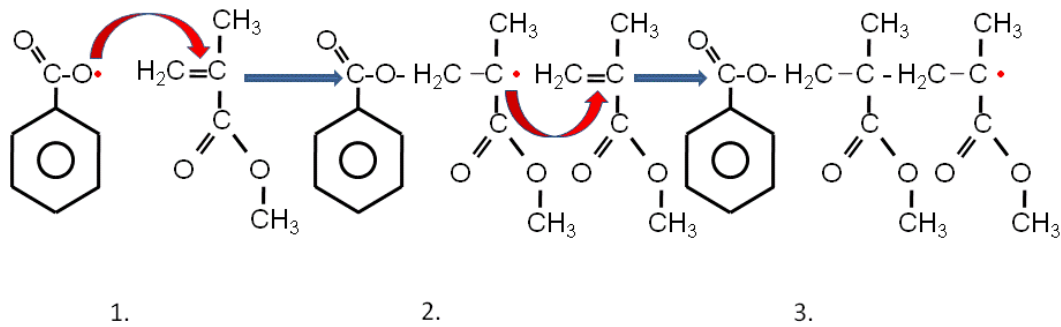
Der Abbindemechanismus temporärer K&B-Werkstoffe ist eine radikalische Polymerisation.<sup>19</sup> Durch die Entstehung von Einfachbindungen bilden sich aus Monomeren Makromoleküle. Diese Molekülverlängerung bewirkt eine zunehmende Verfestigung der reagierenden Substanz.<sup>77</sup> Insgesamt kann man die radikalische Polymerisation in drei Phasen unterteilen: Startreaktion, Kettenwachstum und Abbruchreaktion.<sup>57, 90</sup>

Die Startreaktion kann durch die Zugabe von Wärmeenergie, Lichtenergie oder chemischen Substanzen (Aktivatoren) ausgelöst werden.<sup>31, 45</sup> Um diese Reaktion in Gang zu setzen, werden Startermoleküle (Initiatoren) benötigt, die dem Monomer zugesetzt sind. Die Initiatoren sind instabile Moleküle (z.B. Benzoylperoxid), die unter Zufuhr von Energie zerfallen und dabei Radikale (energiereiche Verbindungen mit einem ungepaarten Elektron)<sup>57</sup> bilden.



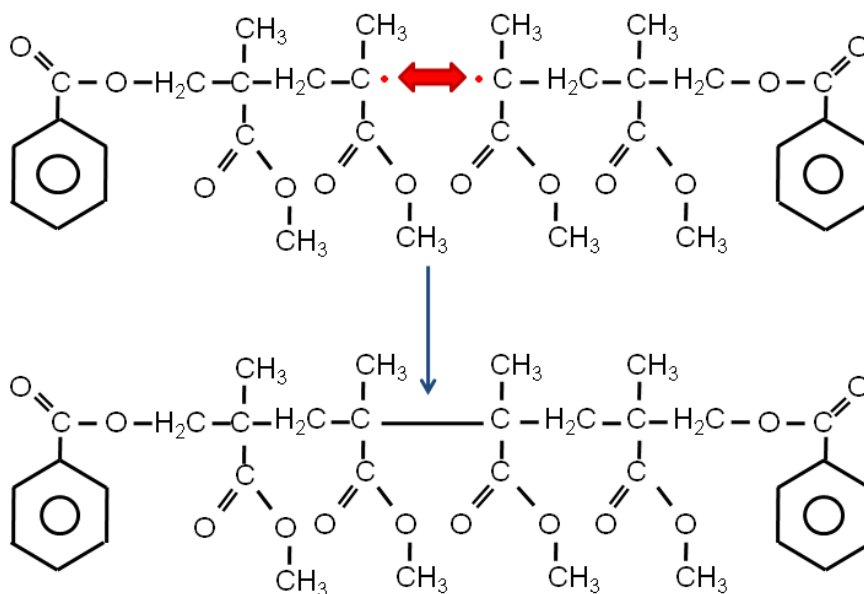
**Abb.2.3:** Startreaktion einer radikalischen Polymerisation. Durch Zuführung von Energie ( $\Delta E$ ) wird Benzoylperoxid (BPO) in zwei radikalische Moleküle gespalten. Das Radikal ist durch den roten Punkt dargestellt.<sup>4</sup>

Die Radikale wiederum greifen die Doppelbindungen der Methacrylat-Monomere unter Bildung von Einfachbindungen an. Durch die Einfachbindung bleibt an den Doppelbindungen ein freibleibendes Elektron zurück und ermöglicht so eine weitere Bindung mit einem Methacrylat-Monomer. Durch Anlagerung weiterer Monomere kommt es zur Entstehung von Makromolekülen (Kettenwachstum).

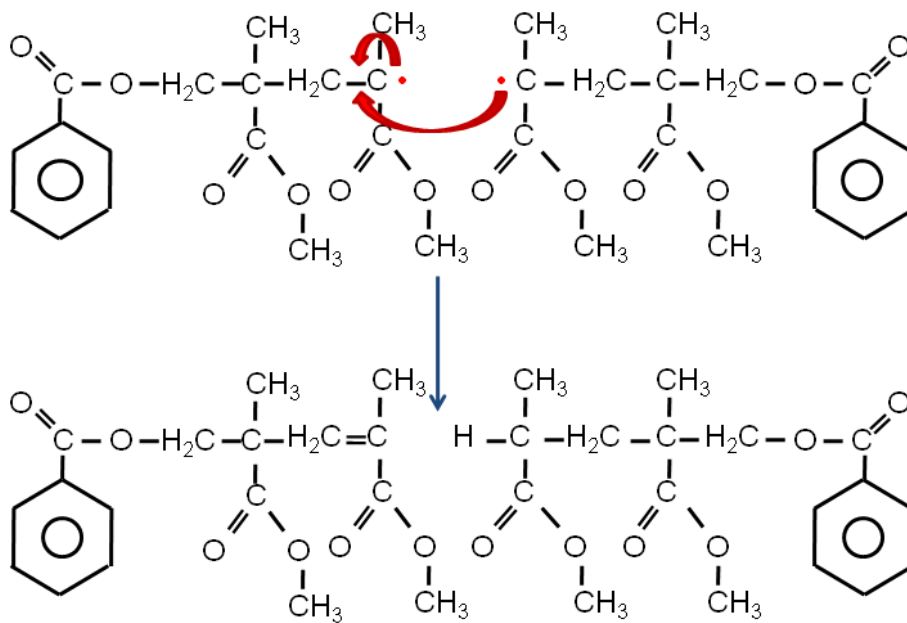


**Abb.2.4:** Kettenwachstum im Rahmen einer radikalischen Polymerisation. Das Benzoylperoxidradikal greift die Doppelbindung des MMA-Moleküls an (1.). Das Radikal wird dabei auf das C2-Atom des MMA übertragen, welches dadurch selbst wieder zum Radikal wird (2.). Die aktivierte Kette lagert weitere MMA-Moleküle durch erneuten Angriff auf eine Doppelbindung an (3.). Die Kette wächst.<sup>4</sup>

Das Kettenwachstum bricht ab (Abbruchreaktion), wenn ein Radikal mit einem anderen Radikal reagiert (Rekombination)<sup>57</sup> oder die Radikale mit einem Inhibitoren oder Sauerstoff abreagieren. Zudem ist es möglich, dass es beim Zusammentreffen zweier Radikale zu einer Kettenübertragung kommt.<sup>16</sup>



**Abb. 2.4.:** Abbruchreaktion durch Rekombination.<sup>4</sup>



**Abb. 2.5:** Abbruchreaktion durch Kettenübertragung.<sup>4</sup>

Allerdings werden bei der radikalischen Polymerisation nie alle Monomere umgesetzt.<sup>57</sup> Die nicht umgesetzten Monomermoleküle verbleiben dann als Restmonomer im Polymer.<sup>45, 90</sup> Sie wirken wie Weichmacher in der temporären Versorgung und schwächen damit deren mechanische Eigenschaften. Zudem können sie, wenn sie aus der Matrix herausgelöst werden, lokal toxische oder allergene Reaktionen verursachen.<sup>57</sup>

Da der Initiator dazu neigt, schon bei geringer Energiezugabe die Reaktion in Gang zu setzen, wird temporären K&B-Werkstoffen zur Vermeidung einer vorzeitigen Startreaktion ein Inhibitor (z.B. Hydrochinon) zugesetzt. Die Wirkung dieser Substanzen beruht auf der Absättigung radikaler Moleküle,<sup>77</sup> wodurch eine lange Lagerzeit ermöglicht wird. Auch Luftsauerstoff kann als Radikalfänger fungieren.<sup>57</sup> Dessen Wirkung wird besonders bei der Verarbeitung lichthärtender Kunststoffe deutlich. So bleibt die Oberfläche lichthärtender Kunststoffe stets klebrig, welches auf nicht umgesetzte Monomere zurückzuführen ist.<sup>57</sup>

### 2.3 Herstellung temporärer Versorgungen

Es gibt mehrere Methoden eine temporäre Versorgung herzustellen. Die Herstellungsmethode richtet sich nach der notwendigen Tragedauer, dem Ausmaß der durchzufüh-

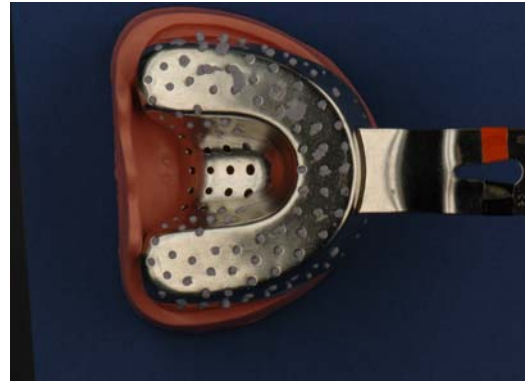


renden Veränderungen (ästhetisch und funktionell) sowie der klinischen Situation. Wenn eine schnelle definitive Versorgung abzusehen ist, wird die temporäre Versorgung meist direkt am Patienten durch den Zahnarzt hergestellt (Chairside). Geht man allerdings davon aus, dass die temporäre Versorgung längerfristig benötigt wird, erfolgt die Herstellung im zahntechnischen Labor (Labside). Eine Übersicht über die unterschiedlichen Herstellungsmethoden ist in [Tabelle 2.2](#) aufgeführt.

Die am häufigsten angewandte Methode ist die Herstellung der temporären Versorgung mit einer Überabformung (Versorgungsabformung) des zu präparierenden Zahnes (siehe [Abb. 2.6-2.9](#)).<sup>112</sup> Bei dieser Methode wird vor der Präparation zunächst eine Versorgungsabformung des zu präparierenden Zahnes genommen. Diese Abformung kann, wenn sie aus einem Silikon hergestellt wurde, während der gesamten zahnärztlichen Therapie als Formgebungshilfe benutzt werden.<sup>65</sup> Bei der anschließenden Präparation wird mit einem rotierenden Instrument ausreichend Substanz von dem zu präparierenden Zahn entfernt, um ihn später mit einer definitiven Restauration versorgen zu können. Nach der Präparation beginnt man mit der Herstellung der temporären Versorgung. Als erstes werden Unterschnitte und Interdentalsepten aus der Versorgungsabformung entfernt.<sup>37, 50, 65</sup> Zusätzlich wird ein zirkumferentes Ausschneiden des präparierten Zahnes in der Versorgungsabformung empfohlen, um dünn auslaufende Bereiche zu vermeiden<sup>4</sup>. Diese sind anfälliger für Frakturen und polymerisieren schlechter aus.<sup>37, 76, 112</sup> Anschließend wird die Versorgungsabformung mit einem temporären K&B-Werkstoff befüllt und über den präparierten Zahn reponiert. Die Entfernung der Versorgungsabformung sollte in der gummielastischen Phase erfolgen, um ein mögliches Verkanten bei Unterschnitten sowie Beschädigungen an der temporären Versorgung zu vermeiden. Um das Risiko der Deformation zu vermeiden, wird die temporäre Versorgung bis zur vollständigen Aushärtung in der Versorgungsabformung belassen.<sup>4</sup> Nachdem der Werkstoff ausgehärtet ist, kann mit der Ausarbeitung und der anschließenden Politur begonnen werden. Hier sollte besonders auf die Ausdehnung der Kronenränder geachtet werden, die weder über- noch unterkonturiert sein dürfen, um dem Patienten eine regelgerechte Mundhygiene zu ermöglichen.<sup>37, 76</sup> Damit die Langlebigkeit einer temporären Versorgung gesichert ist, muss sie ausreichend dimensioniert sein.<sup>50</sup> Ansonsten kann es dazu kommen, dass bei hoher Kaukraft die Versorgung bricht.<sup>57</sup> Dieses gilt besonders bei großen Brückenspannen.<sup>112, 114, 115</sup>



**Abb. 2.6:** präparierter Zahn



**Abb. 2.7:** Herstellung einer Versorgungsabformung



**Abb. 2.8:** Applikation des temporären K&B-Werkstoffes



**Abb. 2.9:** Fertige temporäre Restauration nach Ausarbeitung

**Tabelle 2.2:** Herstellungsmethoden für temporäre Versorgung<sup>4</sup>

Methodik	Anmerkungen	Quellen
<b><i>Individuelle Herstellung durch Überabformung oder Tiefziehschiene</i></b>		
Herstellung mittels Versorgungsabformung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versorgungsabformung vor der Präparation</li> <li>• Versorgungsabformung von einem Situationsmodell</li> </ul>	24, 25, 37, 50, 65, 76, 98, 115
Herstellung mittels Tiefziehschiene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellherstellung erforderlich, ggf. zusätzliche Behandlungssitzung</li> <li>• Korrektur von Form &amp; Okklusion durch Wax-Up möglich</li> <li>• Herstellung einer Tiefziehschiene auf dem dublierten Modell</li> </ul>	24, 25, 37, 42, 50, 76, 98, 102, 115
<b><i>Herstellung mit Hilfe von vorgefertigten oder bestehenden Kronen bzw. Hülsen</i></b>		
Nutzung des bestehenden Zahnersatzes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Unterfütterung“ des bestehenden Zahnersatzes mit temporärem K&amp;B-Werkstoff</li> <li>• Versorgungsabformung empfohlen</li> </ul>	37, 65, 76, 102
Verwendung präformierter Polycarbonat- oder Kunststoffhülsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Unterfütterung“ der präformierten Hülsen</li> </ul>	24, 25, 37, 50, 65, 98
Verwendung prä-formierter Metallhülsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stahl, Ni/Cr-Legierungen, Aluminium</li> <li>• „Unterfütterung“ der präformierten Hülsen</li> </ul>	24, 25, 50, 63, 98
Verwendung prä-formierter Frasco Strip-Kronen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Hülsen dienen primär der Formgebung und werden nach der Herstellung entfernt</li> </ul>	24, 25, 37, 50, 65, 102
Individuell hergestellte Hülsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung eines Schalenprovisoriums im Labor, welches Chairside unterfüttert wird</li> </ul>	25, 37, 50, 65, 76, 98, 102, 115
<b><i>Verwendung formbarer Standardformen</i></b>		
Vorgefertigte, formbare Kronen aus Kunststoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorgefertigte Kronen aus lichthärtendem Composite, die durch Beschneiden und manuelle Adaptation dem Stumpf angepasst werden</li> </ul>	

## 2.4 Aufgaben einer temporären Versorgung

Die Aufgaben einer temporären Versorgung sind sehr unterschiedlich und lassen sich nicht nur auf die Sicherung der Zahnstellung und den Schutz des präparierten Zahnes vor thermischen, mechanischen und mikrobiellen Noxen begrenzen.<sup>5, 6, 25, 36</sup> Ebenfalls dienen temporäre Versorgungen als Kommunikationsmedium zwischen Patient und Behandler um in der Vorbehandlungsphase Entscheidungen über die Gestaltung der späteren definitiven Versorgung zu treffen.<sup>4</sup> Es soll zudem ein komplikationsloser pro-

thetischer Behandlungsablauf gewährleistet werden, der weitgehend ohne Einschränkungen für den Patienten einhergeht.<sup>4</sup>

**Tabelle 2.3.** gibt einen Überblick über die verschiedenen Aufgaben bzw. Ziele einer temporären Versorgung.

**Tabelle 2.3:** Aufgaben einer temporären Restauration <sup>4</sup>

<b>Funktion</b>	<b>Erläuterungen/Ergänzungen</b>	<b>Quellen</b>
Schutz der beschliffenen Zahnhartsubstanz und der Pulpa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz vor thermischen Reizen/Noxen</li> <li>• Schutz vor mikrobiellen Noxen</li> <li>• Schutz vor mechanischen/taktilen Reizen</li> <li>• Schutz vor Karies</li> <li>• Schutz vor Zahnfrakturen</li> </ul>	9, 21, 24, 25, 37, 50, 63, 65, 68, 76, 87, 98, 106, 116
Erhalt/Wiederherstellung der phonetischen Funktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilisierung der Kaufunktion</li> <li>• Veränderung der Bisslage</li> <li>• Gewährleistung einer störungsfreien statischen und dynamischen Okklusion</li> </ul>	9, 24, 25, 37, 50, 63, 65, 79, 98, 106, 115
Erhalt/Wiederherstellung des ästhetischen Erscheinungsbildes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wichtig v.a. bei Frontzahnrestorationen</li> <li>• Wichtige psychosoziale Komponente für den Patienten</li> </ul>	25, 27, 37, 65, 76, 79, 106
Stabilisation der Zahnposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz vor Elongation, Kippung und Zahnwanderung, vor allem bei Brücken und kombiniertem Zahnersatz</li> </ul>	24, 25, 37, 50, 65, 98, 106
Einsatz zur exspektativen Diagnostik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abklärung des Mundhygieneverhaltens</li> <li>• Abklärung der Prognose endodontisch behandelter Zähne</li> <li>• Abklärung der Prognose parodontal geschädigter Zähne</li> <li>• Vorwegnahme des definitiven Behandlungsergebnisses</li> </ul>	24, 37, 68, 102, 115
Steuerung der Weichgewebsheilung/ Schutz des Parodontiums	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausformung der Gingiva nach parodontalchirurgischen oder implantologischen Eingriffen</li> <li>• Schutz des Parodontiums vor Verletzungen</li> <li>• Vermeidung von Gingivawucherungen</li> </ul>	12, 16, 98, 106

## 2.5 Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe

### 2.5.1 *Klinische Anforderungen*

Da temporäre K&B-Werkstoffe in direktem Kontakt zu Geweben der Mundhöhle stehen (sowohl bei der Verarbeitung als auch während der Tragephase), müssen diese Werkstoffe unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Das heißt, temporäre K&B-Werkstoffe müssen biokompatibel sein<sup>38</sup> und dürfen keine toxischen, sensibilisierenden, kanzerogenen, mutagenen und teratogenen Eigenschaften besitzen.

Die temporären K&B-Werkstoffe müssen mundbeständig sein, d.h. sie sollen unlöslich und resistent gegenüber Nahrungsmittel, Medikamente und Zahnpflegemittel sein.<sup>115</sup> Zudem sollten temporäre K&B-Werkstoffe geschmacklos und geruchlos sein und zum Schutz der Pulpa eine geringe Temperaturleitfähigkeit aufweisen.<sup>42, 67</sup>

Eine weitere Anforderung stellt das ästhetische Erscheinungsbild dar.<sup>115</sup> So muss die Farbe der Werkstoffe beständig, der Zahnhartsubstanz angepasst und von der Art des Befestigungswerkstoff unabhängig sein.<sup>48, 68, 79, 115</sup> Eine zusammenfassende Übersicht der klinischen Anforderungen, die an eine temporäre Versorgung gestellt werden, findet sich in [Tabelle 2.4](#). Zuletzt sollten die Werkstoffeigenschaften so beschaffen sein, dass es durch eine Alterung zu keinem Verlust der Funktion kommt.

**Tabelle 2.4:** Klinische Anforderungen an eine temporären Versorgung <sup>4</sup>

Anforderungen	Erläuterungen/Ergänzungen	Quellen
Störungsfreie statische und dynamische Okklusion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung von okklusalen Störungen</li> <li>• Erhalt/ Wiederherstellung einer normalen Kaufunktion</li> <li>• Schutz vor Elongation</li> </ul>	9, 25, 37, 50, 63, 65, 76, 115, 119
Marginale Adaptation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Randdichtigkeit</li> <li>• Schutz der beschliffenen Zahnhartsubstanz</li> </ul>	9, 25, 43, 50, 63, 98
Physiologische Form	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mundhygienefähigkeit</li> <li>• Ausformung der Gingiva</li> <li>• Schutz des Parodonts</li> </ul>	9, 25, 37, 50, 65, 76, 115, 119
Mechanische Festigkeit und Haltbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langlebigkeit während der Tragedauer</li> <li>• Widerstand gegenüber Kaukräften</li> <li>• Störungsfreie Abnahme und Wiederbefestigung</li> </ul>	25, 50, 65, 79

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fester Sitz auf dem präparierten Zahn</li> </ul>	
Biologische Verträglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewebeverträglichkeit</li> <li>• Keine Irritation der Pulpa oder von oralen Schleimhäuten</li> <li>• Geringes allergenes Potential</li> <li>• Keine Abgabe toxischer Substanzen</li> <li>• Geringes allergenes Potential</li> <li>• Keine lokalen Gewebeschädigungen</li> </ul>	21, 25, 65, 79, 119
Ästhetisches Erscheinungsbild	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahnfarbe (Farbstabilität, Fluorezenz)</li> <li>• Zahnform</li> </ul>	21, 25, 50, 79, 98
Glatte Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Porosität der Oberfläche</li> <li>• Geringe Verfärbungsneigung</li> <li>• Tragekomfort</li> </ul>	9, 25, 50, 76, 102
Röntgenopazität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweisbar auf einer Röntgenaufnahme bei akzidentellem Verschlucken/Aspiration</li> </ul>	37, 115
Gute mechanische Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Festigkeit und Oberflächenhärte</li> <li>• Kantenstabil</li> <li>• Zerstörungsfrei entfernbar</li> </ul>	24, 25, 43, 50, 63, 65, 76, 115, 119
Natürliche Farbgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahnfarben</li> <li>• Farbstabil</li> <li>• Geringe Verfärbungsneigung</li> <li>• Fluoreszenz</li> </ul>	25, 50, 65, 98, 102, 115
Geringe Löslichkeit und Wasseraufnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfärbungsneigung</li> <li>• Freisetzung von Inhaltsbestandteilen</li> <li>• Mundbeständigkeit</li> </ul>	115, 116
Abrasionsfestigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausreichend abrasionsstabil bei längerer Tragedauer</li> </ul>	50, 102, 116
Geringe thermische Leitfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung von Überempfindlichkeiten</li> <li>• Tragekomfort</li> </ul>	25

### 2.5.2 *Verarbeitungsbezogene Anforderungen*

Zu den bereits genannten klinischen Anforderungen kommen die verarbeitungsbezogenen Anforderungen. Diese haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der fertigen Versorgung, welches im Folgenden näher erläutert werden soll. Je einfacher ein Werkstoff zu verarbeiten ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit von Mängeln, die durch Fehler während der Verarbeitung entstehen. Als Beispiel ist hier die Unempfind-

lichkeit eines temporären K&B-Werkstoffes gegenüber Dosierfehlern zu nennen. Alle weiteren verarbeitungsbezogenen Anforderungen sind in [Tabelle 2.5](#) aufgelistet.

Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die verarbeitungsbezogenen Anforderungen maßgeblich durch die materialimmanenten Eigenschaften des temporären K&B-Werkstoffes bestimmt werden.<sup>92, 116</sup> Als Beispiel für eine materialimmanente Eigenschaft ist die Polymerisationsschrumpfung zu nennen, welche von der chemischen Basis und Zusammensetzung des verwendeten K&B-Werkstoffes abhängt.<sup>4</sup> Diese beeinflusst im weiteren Sinne die verarbeitungsbezogenen Eigenschaften, da dadurch die Herstellung eines korrekten Randschlusses erschwert wird.

**Tabelle 2.5:** Verarbeitungsbezogene Anforderungen an temporäre K&B Werkstoffe <sup>4</sup>

Anforderung	Erläuterungen/Ergänzungen	Quellen
Gute Bearbeitbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Fräsbarkeit</li> <li>• Geringe Inhibitionsschicht</li> </ul>	24, 37, 50, 65, 76, 98, 115
Hochglanzpolierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porenfreiheit (dichte Struktur)</li> <li>• Beständiger Oberflächenglanz</li> </ul>	25, 50, 65, 68, 76, 98, 102, 115, 119
Geringe Polymerisationstemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz vor thermischen Schädigungen der Pulpa</li> </ul>	17, 25, 115, 119
Einfache Verarbeitbarkeit/ Handhabung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Mischbarkeit</li> <li>• Automischsysteme</li> </ul>	25, 50, 79, 115, 116, 119
Gute Reparaturfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit identischen Material oder spezifischen Reparatursystemen zu reparieren</li> </ul>	25, 50, 65, 68, 76, 115, 116, 119
Klinikgerechte Verarbeitungs- und Abbindezeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausreichend lange Verarbeitungszeit bei möglichst geringer Mundverweildauer</li> </ul>	25, 50, 119
Geruchs- und Geschmacksneutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Geruchs- oder Geschmacksirritationen des Patienten</li> </ul>	50, 98
Gute Fließfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausfließen auch dünnwandiger Bereiche</li> </ul>	
Kompatibel mit temporären Befestigungszementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Verfärbung</li> <li>• Keine Beeinflussung der Festigkeit</li> </ul>	50, 115, 116
Geringe Polymerisationskontraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringer Korrekturbedarf nach Fertigstellung</li> </ul>	37, 50, 115, 119
Gummielastische Phase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerstörungsfreie Abnahme bei der Herstellung</li> </ul>	37, 63, 119

### 2.5.3 *Mechanische Eigenschaften*

Die Betrachtung der mechanischen Eigenschaften temporärer K&B-Werkstoffe ist ein komplexes und weitreichendes Themengebiet, was bei genauerer Erläuterung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Daher soll nur auf die Bereiche eingegangen werden, welche für diese Arbeit wichtig sind.

Eine wichtige Materialeigenschaft temporärer K&B-Werkstoffe ist die dauerhafte mechanische Festigkeit, welche entscheidend die Haltbarkeit einer temporären Versorgung bestimmt.<sup>4</sup> Zur Erläuterung dieser Verknüpfung ist das Beispiel einer temporären Brückenversorgung zu nennen, bei der es bei fehlender mechanischer Festigkeit zu einem Bruch käme.

Die mechanische Festigkeit ist von verschiedenen Faktoren abhängig: dem Polymerisationsgrad, dem Wassergehalt, der Deformationsgeschwindigkeit und der Temperatur.<sup>77</sup> Einen zusätzlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften hat der Restmonomergehalt, da die Restmonomere wie Weichmacher wirken.<sup>57</sup>

Die mechanische Festigkeit ist ein Überbegriff, dem sich viele verschiedene mechanische Kenngrößen zuordnen lassen. Zu diesen Kenngrößen gehören u.a. das E-Modul, die Bruchzähigkeit und die Sprödigkeit. Die einzelnen physikalischen Eigenschaften des temporären K&B-Werkstoffes werden im Wesentlichen durch die Art der Matrix sowie durch die verwendeten Füllstoffe bestimmt.

Wie oben bereits erwähnt hat auch die Wasseraufnahme bzw. die Wasserlöslichkeit einen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften einer temporären Versorgung.<sup>2</sup> Die Wasseraufnahme eines Werkstoffes hängt von seiner Porosität, Homogenität und seinem Vernetzungsgrad ab.<sup>2</sup> Durch Wasseraufnahme kann es zu einer Lockerung des Kunststoffgefüges und damit zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften kommen.<sup>4</sup>



## 3 Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen

Die Oberflächenbearbeitung temporärer K&B-Werkstoffe ist ein wesentlicher Schritt bei der Herstellung einer temporären Versorgung. Durch die Formgebung und die Politur wird die Restauration den Bedingungen der Mundhöhle angepasst. Aus der Literatur sind verschiedene Untersuchungen über die Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen bekannt.<sup>18, 51, 52, 74, 75, 97, 123</sup> Ziele dieser Untersuchungen waren zu- meist das Bearbeitungsverfahren oder die jeweiligen Werkstoffe. Bei wenigen Arbei- ten<sup>113</sup> wurden Aspekte, wie ein konstanter Bearbeitungsdruck, eine konstante Drehzahl und die vorgegebene Bearbeitungszeit berücksichtigt.<sup>3, 49, 52, 61, 75, 93, 97, 101</sup> Weiterhin ist die im klinischen Bereich relevante Oberflächenbearbeitung mit einer Fräse nur in we- nigen Studie berücksichtigt.<sup>18, 74, 96</sup>

Im folgenden wird die Durchführung sowie die Bedeutung der Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen erläutert. Zudem wird auf die Bestimmung der Oberflächenrauheit und deren Auswirkung auf die bakterielle Adhäsion eingegangen.

### 3.1.1 *Fräsen und Schleifen*

Die Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen ist ein mehrstufiges Verfahren und lässt sich in zwei Abschnitte unterteilen. Im ersten Schritt wird durch Fräsen und Schleifen die Oberfläche definitiv geformt. Im darauffolgenden zweiten Schritt wird durch eine Politur die Oberfläche weiter eingeebnet. Beide Verfahren ver- kleinern die wirksame Oberfläche und verändern dadurch das chemische Verhalten so- wie die physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs.<sup>62</sup>

Fräsen und Schleifen sind spanabhebende Bearbeitungsverfahren. Der Schleifkörper ähnelt einem Werkzeug mit einer Vielzahl unbestimmter Schneiden, die sich während des Spannungsprozesses ständig ändern.<sup>35</sup> Solche selbstschärfenden Schleifkörper be- stehen aus Partikeln eines Schleifmittels, die durch ein Bindemittel zusammengehalten werden. Durch Abrieb des Bindemittels (Kunststoffe, Gummi) wird das Schleifkorn zunehmend freigelegt, bis es schließlich herausbricht. Gebräuchliche Schleifmittel sind: Diamant, Siliciumcarbid, Wolframcarbid, Korund, Schmirgel, Quarz, Granat, Bimsstein und Tripel.<sup>62</sup> Diese kleinen, spitzen und scharfkantigen Partikel sind immer härter als der zu bearbeitende Werkstoff.<sup>77</sup> Beim Schleifen nimmt die Spitze des Schleifkornes

Späne ab, sodass unregelmäßig tief und dicht aneinander liegende Riefen entstehen. Die Oberfläche lässt sich nur durch Änderung der Schleifrichtung und durch einen Wechsel auf ein immer feineren Schleifkörper glätten.

Ein effektives Schleifen ist nur an hinreichend harten bzw. schneidbaren Werkstoffe möglich. Bei weichen Werkstoffe kommt es häufig zu Deformationen. Der Schleifpartikel erzeugt bei diesen eine Riefe durch Aufwerfen seitlicher Grate und nicht durch Abtragung von Spänen, wie es bei harten Werkstoffen der Fall ist. Der Schleifvorgang bewirkt somit nur einen geringen Werkstoffabtrag.<sup>77</sup>

Bei der Oberflächenbearbeitung von Polymeren (v.a. unvernetzter Poylmere) darf auch die Wärmeentwicklung des Werkstückes nicht außer Acht gelassen werden, denn temporäre K&B-Werkstoffe beginnen bei etwa 70 °C zu erweichen.<sup>62</sup> Dabei steigt die Temperatur des Werkstoffes mit dem aufgewendeten Druck des Schleifkörpers bei der Bearbeitung an. Auch bei Temperaturen leicht unter 70 °C kann es zu Spannungszuständen in der Oberfläche des Kunststoffes kommen, die beim Abkühlen einfrieren. Sie werden für die Entstehung feiner Risse (Craquelierung) verantwortlich gemacht.<sup>56, 80</sup> Es sollte daher unter geringem Druck und hoher Drehzahl gearbeitet werden, so dass die Schnittgeschwindigkeit des Schleifkornes etwa 10 m/s beträgt. Zusätzlich sollte nass geschliffen werden, um die Temperatur- und Staubentwicklung gering zu halten.<sup>62</sup> Somit ist aus Sicht der Wärmeentwicklung gerade bei Kunststoffen das Fräsen dem Schleifen vorzuziehen, da eine scharfe Fräse weniger Wärme erzeugt. Zudem haben Fräsen den Vorteil, dass sie einen gleichmäßigen Rundlauf haben.<sup>62</sup> Allerdings ist durch den größeren Materialabtrag der Fräsen die Gefahr eines Defektes in der Oberfläche größer.

### **3.1.2 Polieren**

Die Grenze zwischen Schleifen und Polieren ist fließend, da der geringfügige Materialabtrag sich beim Polieren nur graduell von dem des Schleifens unterscheidet. Die Politur soll die Oberfläche noch stärker einebnen. Dies geschieht durch plastische Deformation unter lokalen hohen Druck- und Temperaturspitzen. Gebräuchliche Poliermittel sind: Schlämmkreide, Kalkspat, Wiener Kalk, Chromoxid, Eisenoxid, Magnesiumoxid und Zinkoxid. Bei der Politur von Kunststoffen ist ebenfalls die Temperaturentwicklung zu beachten, die durch zu hohe Belastung oder Drehzahl zu einer Erweichung der oberflächlichen Kunststoffschicht führen kann ([Kapitel 3.3.1](#)).<sup>62</sup>

Die Ergebnisse einer Politur stehen insofern mit der Zusammensetzung und der chemischen Struktur eines temporären K&B-Werkstoffes in Zusammenhang, als vermutet wird, dass die Größe der Füllstoffe und die Belastung während der Politur einen maßgeblichen Einfluss auf diese haben.<sup>8, 32, 33</sup> Optimalerweise sollten Füllstoffe zum Schutz der Kunststoffmatrix vor Abrasion eng aneinander liegen, um den Raum zwischen den Partikeln zu reduzieren. Reduzierter Raum zwischen den Partikeln wird zum einen durch die Verkleinerung der Füllstoffe und zum anderen durch die Vergrößerung des Volumens derselbigen erreicht.<sup>84</sup> Während der Politur wird vorwiegend die weiche Kunststoffmatrix entfernt, somit bleiben harte Füllstoffe nach der Politur an der Oberfläche zurück. Composite mit größeren Füllstoffen weisen demnach höhere Rauheitswerte nach der Politur auf als Composite mit kleineren Füllstoffen. Eine effektive Politur ist also nur gegeben, wenn Füllstoff und Matrix gleichmäßig abgetragen werden.<sup>113</sup> In diesem Zusammenhang sollte noch erwähnt werden, dass Mono-Methacrylate keine Füllstoffe enthalten. Dadurch können MMA/PMMA-Werkstoffe bei der Oberflächenbearbeitung geringere Rauheitswerte erreichen als Composite-Werkstoffe.<sup>4</sup>

*Bollen et al.*<sup>15</sup> hat nachgewiesen, dass bei einem Schwellenwert von unter Ra 0,2 µm keine weitere Reduzierung der mikrobiologischen Kolonisation zu erwartet ist. Im Hinblick auf die Plaqueprävention sollte dieser Schwellenwert als Zielwert für die Oberflächen dentaler Restaurationen angestrebt werden.<sup>18</sup> Werte um 0,2 µm und darunter können bei temporären K&B-Werkstoffen nur durch mehrstufige Politurverfahren erreicht werden.<sup>13</sup> Insbesondere bei temporären Restaurationen, die für eine lange Tragedauer vorgesehen sind, sollen durch die mehrstufige Politur solche Werte erreicht werden.<sup>18</sup>

*Watanabe et al.*<sup>113</sup> merkt in seinen Untersuchungen über Composite an, dass der Effekt einer Politur vom verwendeten System sowie dem Werkstoff abhängt. Zur allgemeinen Verbesserung der Oberflächenrauheit empfehlen verschiedene Dentalfirmen die Verwendung von Lacken.<sup>7, 53</sup> Es ist jedoch vom Gebrauch von Lacken, aufgrund der insuffizienten Benetzungseigenschaften und der im Vergleich zur Politur relativ schlechten Oberflächenqualität, abzuraten.<sup>18</sup> Zudem ist die Langlebigkeit der Lacke fraglich.<sup>117, 118</sup>

### 3.2 Bedeutung der Oberflächenbearbeitung für K&B-Werkstoffe in der Mundhöhle

Mehrere Untersuchungen zeigen, dass raue Oberflächen die bakterielle Adhäsion begünstigen und somit das Entzündungsrisiko des parodontalen Gewebes erhöhen.<sup>10, 14, 29, 52, 70, 89, 99, 110</sup> Oberflächen mit einer geringen Rauheit hingegen reduzieren die bakterielle Adhäsion.<sup>20, 53, 69, 86, 87, 98</sup> Deswegen sollten alle zahnärztlichen Restaurationen eine möglichst geringe Oberflächenrauheit besitzen.<sup>20, 86, 89</sup> Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass temporäre K&B-Werkstoffe eine höhere Tendenz zur Plaqueanlagerung zeigen als definitive Versorgungen.<sup>65</sup> Weitere Gründe für eine geringe Oberflächenrauheit dentaler Restaurationen sind, dass sie den Tragekomfort durch eine geringere Irritationen der Zunge und der Wangenschleimhaut erhöhen.<sup>9</sup> Des Weiteren reduzieren sie die Entstehung exogener Verfärbungen.<sup>24</sup> *Körber et al.*<sup>66</sup> beschreiben in ihren Untersuchungen, dass es durch eine Politur zu einer Verdichtung und somit auch zu einer Erhöhung der Festigkeit der Oberfläche kommt.

Damit es zu keinen Irritationen der Mundhöhle durch Pressfahnen, Überschüsse und scharfe Kanten kommt, müssen diese durch eine sorgfältige Ausarbeitung der temporären Restauration beseitigt werden. Durch die anschließende Politur wird die Oberfläche ohne wesentlichen Materialabtrag weiter eingeebnet und die Oberflächenrauheit verringert.<sup>62</sup> Der durch die Bearbeitung entstehende Materialabtrag ist nur bis zu einem gewissen Grad vertretbar, da sonst die Schutz- und Kaufunktion sowie die Stabilität des temporären Ersatzes beeinträchtigt werden.<sup>55</sup> Durch die Oberflächenbearbeitung können zudem Blasen freigelegt werden, die die Oberflächenrauheit zusätzlich erhöhen. Blasen entstehen während des Anmischvorganges des Werkstoffes. Durch die Verwendung von Kartuschensystemen kann die Blasenbildung reduziert, jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden.<sup>55</sup>

Weiterhin ist die Oberflächenbearbeitung zur Entfernung der Sauerstoffinhibitionsschicht unumgänglich.<sup>57</sup> Nach Herstellung weist die oberste Schicht einer temporären Versorgung einen hohen Anteil an organischer Matrix auf. Wenn sie nicht entfernt wird, abradiert sie sehr schnell und es resultiert eine raue Verschleißoberfläche.<sup>78</sup>

Manche Autoren vermuten, dass temporäre Kronen- und Brückenmaterialien anfälliger für thermische Defekte bzw. eine höhere Oberflächenrauheit sind, wenn sie poliert werden, bevor sie komplett abgebunden sind.<sup>34, 85</sup> *Venturini et al.*<sup>108</sup> berichten in ihren Un-

tersuchungen hingegen, dass Probekörper, die nicht direkt nach der Herstellung poliert wurden, eine geringere Mikrohärtigkeit aufwiesen als direkt polierte.

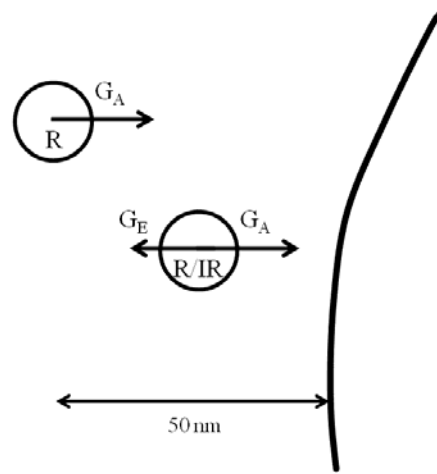
Zusammenfassend kann man sagen, dass die Oberflächenbearbeitung bei temporären K&B-Werkstoffen vielfältige Aufgaben erfüllt und für den Erfolg einer prothetischen Behandlung unerlässlich ist. Insbesondere die bakterielle Adhäsion und die damit einhergehenden entzündlichen Prozesse gilt es durch eine geringe Oberflächenrauheit zu vermeiden.

Die Entwicklung von mikrobieller Plaque auf der glatten Oberfläche von Zähnen wird durch die Adhäsion von Bakterien aus dem Speichel auf dem Zahnpellikel initiiert.<sup>22, 71, 105</sup> Bei ausbleibender Mundhygiene wird die erste Bakterien-schicht dicker und breitet sich über der gesamten Zahnoberfläche aus.<sup>11, 28, 95, 103</sup> Während dieses Wachstums verschiebt sich die Bakterienflora von einer relativ simplen, primär kokkalen Zusammensetzung zu einer komplexeren Einheit. Diese zeichnet sich anfänglich durch eine ansteigende Zahl an Stäbchen und filamentösen Organismen aus. Später enthält sie überwiegend Spirillen, Kokken, Aktinomyzeten und Spirochäten.<sup>64, 72, 104</sup>

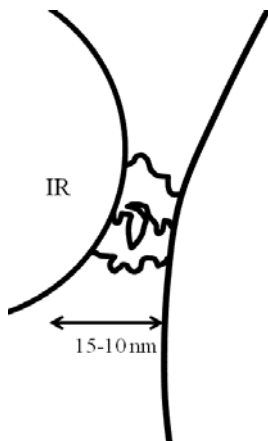
Rasterelektronenmikroskopische Bilder zeigen, dass die initiale bakterielle Adhäsion und Kolonisation auf oralen Oberflächen durch Unregelmäßigkeiten in der Oberflächen, wie z.B. Riefen, Vertiefungen, Perikymatien oder Abrasionsdefekte entsteht.<sup>83</sup> An den genannten Stellen sind die Bakterien vor reinigenden Kräften geschützt, so dass ausreichend Zeit bleibt, eine feste Verbindung herzustellen. Somit ist die Oberflächenrauheit, aber auch die freie Oberflächenenergie, bestimmende Faktoren für die bakterielle Adhäsion.<sup>87, 94</sup> Obwohl die Faktoren miteinander interagieren, überwiegt der Einfluss der Oberflächenrauheit. Im subgingivalen Milieu ist der Einfluss der Oberflächenrauheit allerdings geringer.<sup>15</sup> Weiterhin wird die Quantität und Qualität der bakteriellen Akkumulation auf speziellem Untergrund durch diese Oberflächeneigenschaften bestimmt.<sup>1</sup>

Die bakterielle Adhäsion erfolgt in mehreren Schritten. Die Annäherung eines Bakteriums an eine Oberfläche erfolgt dabei entweder durch konvektive Flüssigkeitsbewegungen (Brownschen Bewegungen) oder durch aktive Lokomotion. Wenn ein Bakterium dadurch in die Nähe einer Oberfläche kommt ( $< 50$  nm), beginnt die initiale Adhäsion durch die weitreichenden Van der Waals Kräfte ( $G_A$ ) (Abb. 3.1). Den Van der Waals Kräften entgegen wirken die elektrostatischen Kräfte ( $G_E$ ). Sie resultieren aus der freien Oberflächenenergie. Überwiegen die Van der Waals Kräfte und es kommt zu einer Annäherung des Bakteriums an die Oberfläche in einen Abstand von 10 bis 15 nm, entsteht

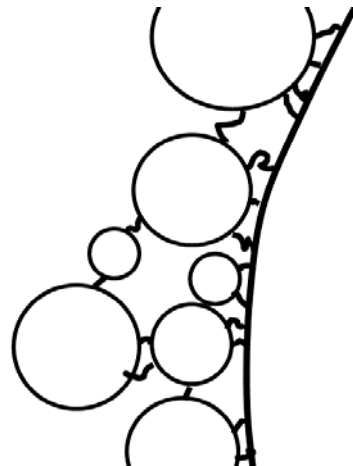
eine reversible schwache Bindung. In dieser Position kann das Bakterium eine beständige Bindung herstellen, indem es die separierende Lücke durch direkten Kontakt oder spezifische Interaktionen der extrazellulären filamentösen Fortsätze überbrückt (Abb. 3.2).<sup>88</sup> In dieser Position kann es dann für eine Weile verbleiben. Die endgültige Kolonisation der Oberfläche hängt hauptsächlich von der Proliferation der initial anhaftenden Mikroorganismen und weniger von der Adhäsion neuer Mikroorganismen ab (Abb. 3.3).<sup>23</sup>



**Abb. 3.1:** Schematische Darstellung der initialen Adhäsion (R: reversibel/IR: irreversibel).<sup>26, 107</sup>



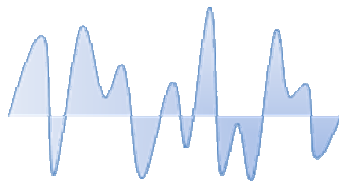
**Abb. 3.2:** Irreversible Bindung des Bakteriums.<sup>26, 107</sup>



**Abb. 3.3:** Kolonisation der Oberfläche.<sup>26, 107</sup>

### 3.3 Möglichkeiten zur Bestimmung der Rauheit

Bei der Beschreibung der Oberfläche unterscheidet man zwischen der **wirklichen Oberfläche**, die das Objekt vom umgebenden Medium trennt, und der **Istoberfläche**, der messtechnisch erfassbaren Oberfläche.<sup>62</sup> Die Qualität einer Oberfläche wird nach Größe und Form ihrer mikrogeometrischen Differenzen gegenüber einer ideal glatten Fläche mit dem gleichen makroskopischen Verlauf beurteilt.<sup>77</sup> Dabei wird eine gedanklich konstruierte Linie gezogen, die parallel zur allgemeinen Richtung des zu ertasteten Profils verläuft.<sup>62</sup> Diese Linie unterteilt das Profil so, dass die Flächensummen der Gratprofile oberhalb und die Flächensummen unterhalb dieser Linie gleich groß sind (Abb. 3.4).<sup>77</sup>



**Abb. 3.4:** Darstellung eines Profils mit unterteilten Graten

Im Rahmen einer Oberflächenuntersuchung unterscheidet man zwischen Formabweichung, Welligkeit und Rauheit. Die Unterscheidung zwischen diesen Parametern ergibt sich durch das Längen- und Tiefenverhältnis der Gestaltabweichung. Anhand eines Beispiels<sup>109</sup> soll dieses im Folgenden näher erläutert werden: Man stelle sich die genannten Parameter übertragen auf eine Straße vor. So ist die Formabweichung mit der Veränderung des Straßenverlaufs –bedingt durch Berge und Täler – gleichzusetzen. Die Welligkeit entspricht Unebenheiten bzw. Wellen in der Straße. Die Rauheit lässt sich folglich mit dem Profil des Asphaltbelags vergleichen. Anders formuliert bedeutet dies: Als Welligkeiten werden Abweichungen von der geometrisch idealen Oberfläche bezeichnet, deren Länge ein beträchtliches Vielfaches ihrer Tiefe beträgt. Rauheit liegt vor, wenn die Länge der Abweichung nur ein geringes Vielfaches ihrer Tiefe umfasst. Insgesamt gibt es 6 verschiedene Ordnungen der Gestaltabweichung. Dazu ist anzumerken, dass die 5. und 6. Ordnung nicht mehr in einfacher Weise bildlich darzustellen sind, da sie sich auf den chemischen bzw. atomaren Aufbau beziehen (Tabelle 3.1).

**Tabelle 3.1:** Ordnungen der Gestaltabweichung

<b>Gestaltabweichung</b>	<b>Beispiel für die Art der Abweichung</b>
1. Ordnung: Formabweichung	• Geradheits-, Ebenheits- und Rundheitsabweichung, u.a.
2. Ordnung: Welligkeit	• Wellen (nach DIN 4761)
3. Ordnung: Rauheit	• Rillen (nach DIN 4761)
4. Ordnung: Rauheit	• Riefen, Schuppen, Kuppen (nach DIN 4761)
5. Ordnung: Rauheit	• Gefügestruktur
6. Ordnung: Rauheit	• Gitteraufbau des Werkstoffes

Die Grenze, an der die Welligkeit in die Rauheit übergeht, ist willkürlich. Es gibt keine absolute Definition dafür, was Rauheit ist und wann diese in Welligkeit übergeht. Zur Unterscheidung dieser Größen wurde der Begriff der Grenzwellenlänge  $l_m$  eingeführt. Bei jeder Messung wird die Grenzwellenlänge individuell bestimmt, um zwischen Welligkeit und Rauheit unterscheiden zu können.<sup>109</sup> Dabei beträgt die Grenzwellenlänge mind. das 2,5- bis 8-fache des Riefenabstandes der zu untersuchenden Oberfläche. Damit wird sichergestellt, dass sich innerhalb einer Einzelmessstrecke eine ausreichende Anzahl an Riefen und Spitzen befindet. Die Grenzwellenlänge gibt weiterhin die Distanz der Gesamtmessstrecke vor, da zur Bestimmung der Rauheit die Gesamtmessstrecke laut DIN EN ISO 4288<sup>1</sup> dem 5-fachen der Grenzwellenlänge entsprechen soll. Dieses soll anhand eines Beispiels erklärt werden: Aufgrund einer vorläufigen Messung ermittelt man für eine bestimmte Oberfläche eine Grenzwellenlänge von 0,08 mm. Die Gesamtmessstrecke zu Bestimmung der Rauheit beträgt somit 0,4 mm. In der Praxis entspricht die Gesamtmessstrecke dem 7-fachen der Grenzwellenlänge, da bei der Verwendung von Tastschnittverfahren die erste und die letzte Einzelmessstrecke aus Gründen der Kalibrierung verworfen werden. Zusammengefasst bedeutet das, dass die Messstrecke durch das Oberflächenprofil des zu untersuchenden Werkstoffes vorgegeben wird.

---

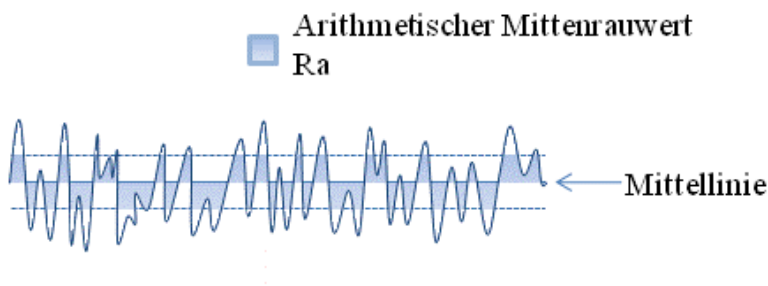
<sup>1</sup> Deutsche Norm: Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren, Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit



Zur Beschreibung der Rauheit werden in dieser Studie folgende Parameter verwandt: Der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$ , die gemittelte Rautiefe  $R_z$  und die maximale Rautiefe  $R_{max}$ .

Der **arithmetische Mittenrauwert** ist das arithmetische Mittel der vertikalen Abweichung des Profils von der Mittellinie.  $R_a$  ist weit verbreitet und hat sich als Standard-Rauheitskenngröße etabliert. Der Nachteil von  $R_a$  ist, dass er nicht zwischen Spitzen und Riefen differenziert. Ebenso wenig erkennt er verschiedene Profilformen. Diese verhältnismäßig schwache Aussagekraft von  $R_a$  bietet jedoch auch Vorteile. So reagiert  $R_a$  schwach auf einzelne Störungen, die bei Messungen unter ungünstigen Umgebungsverhältnissen oder mit sehr einfachen Oberflächenmessgeräten entstehen können. Da der Definition von  $R_a$  eine sehr starke Mittelwertbildung zugrunde liegt, streuen die Ergebnisse von Messstelle zu Messstelle nur wenig und sind folglich sehr gut wiederholbar.

$R_a$  entspricht der Größe eines Rechtecks von der Grenzwellenlänge  $l_m$  und der Höhe  $R_a$ .



**Abb. 3.5:** Profilverlauf von  $R_a$

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l [y(x)] dx$$

**Abb. 3.6:** Formel zur Berechnung von  $R_a$ .<sup>100</sup>

Der **Rauheitskennwert  $R_z$**  reagiert, im Gegensatz zu  $R_a$ , sensibel auf verschiedene Oberflächentypen.<sup>109</sup> Zudem ist  $R_z$  in Bezug auf Ausreißer aussagekräftiger.<sup>100</sup> Zur Ermittlung der gemittelten Rautiefe  $R_z$  wird das gefilterte Profil gemäß der DIN EN ISO 4288<sup>39</sup> in fünf gleiche Strecken unterteilt. Im eigentlichen Tastschnittverfahren hinge-

gen wird das Profil in sieben Strecken unterteilt. Um eine Verfälschung aufgrund der Vorlauf- und Nachlaufzeit des Tastschnittgerätes zu vermeiden, werden bei diesem Verfahren die erste und die letzte Teilstrecke nicht in die Berechnung einbezogen. Die Länge der einzelnen Teilstrecken entspricht der Grenzwellenlänge  $l_m$ . Bei der Ermittlung der Rautiefe  $R_z$  wird jedem der fünf Teilstücke der maximale Wert ( $Z_1$ - $Z_5$ ) entnommen, aus dem das arithmetische Mittel gebildet wird. Durch diese Mittelwertbildung wird der Einfluss einzelner Spitzen und Riefen gemildert. Zur Kontrolle sollte neben  $R_z$  auch immer  $R_{max}$  ausgewertet werden, um mögliche Störungen zu erkennen.

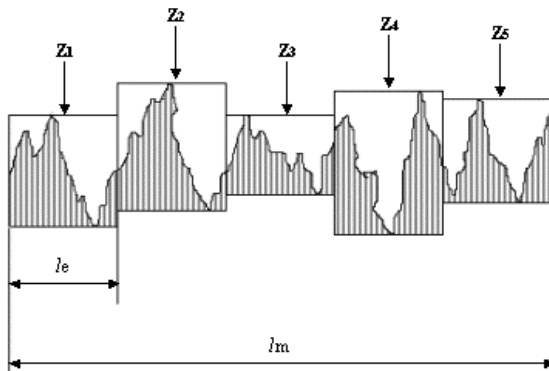


Abb. 3.7: Profilverlauf von  $R_z$  <sup>100</sup>.

$$R_{Z\text{DIN}} = \frac{1}{5} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$

Abb. 3.8: Formel zur Berechnung von  $R_z$ .<sup>100</sup>

Die Ermittlung von **Rmax** ist der Ermittlung von  $R_z$  gleich.  $R_{max}$  entspricht dem größten Abstand von der höchsten Spitze bis zur tiefsten Riefe innerhalb der fünf Teilstücke.

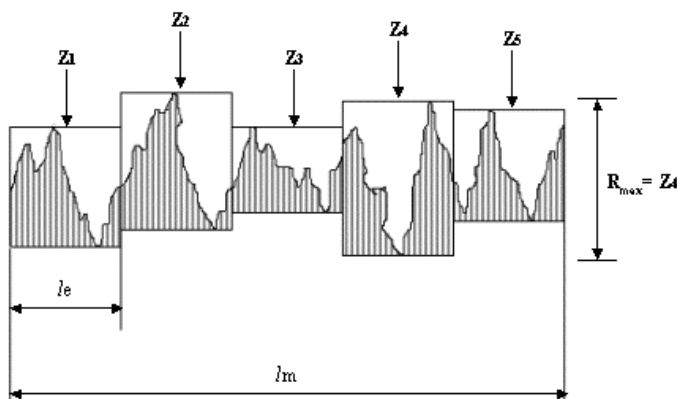


Abb. 3.9: Profilverlauf und Berechnung von  $R_{max}$ .<sup>100</sup>

### 3.4 Fazit

Aus dem Vorangegangenen wird deutlich, dass einerseits die klinischen Anforderungen temporärer Versorgungen vielfältig sind, andererseits wenig Informationen zur tatsächlichen klinischen Ausarbeitung vorliegen. Besonders im Bereich der Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen sind nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden, die weiterhin auch nur schwer vergleichbar sind. Die Frage der Vergleichbarkeit stellt sich aufgrund der fehlenden Standardisierung der Oberflächenbearbeitung, da insbesondere der Bearbeitungsdruck von Behandler zu Behandler unterschiedlich ist.<sup>59</sup> Aufgrund dieser Problematik verwandten *Jones et al.*<sup>59</sup> und *Watanabe et al.*<sup>113</sup> Oberflächenbearbeitungsapparaturen in ihren Untersuchungen der Oberflächenrauheit von direkten Restormaterialien. Allerdings stellt sich bei der Verwendung einer Oberflächenbearbeitungsapparatur die Frage der Vergleichbarkeit der Ergebnisse von manuell bearbeiteten Oberflächen mit klinisch erhobenen Daten. Es ist daher das Anliegen der im folgenden beschriebenen Versuche, zur Aufklärung dieser Fragestellung beizutragen.

## 4 Ziel der Arbeit

Das Hauptziel dieser Untersuchung war es die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Hand- und Apparaturbearbeitung bei temporären K&B-Werkstoffen zu bewerten. Dazu wurde ein semiautomatisches Verfahren entwickelt, dass eine standardisierte Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen ermöglicht.

Es wurde folgende Nullhypothese überprüft: Die Oberflächenrauheit von temporären K&B-Werkstoffen nach Hand- und Apparaturbearbeitung ist gleich.

Des Weiteren wurden weitere Nebenziele mit folgender Fragestellung untersucht: Die Oberflächenrauheit ausgearbeiteter und polierter Oberflächen temporärer K&B-Werkstoffe ist unabhängig

- 1) von der chemischen Provenienz des verwendeten Werkstoffes.
- 2) von der verwendeten Bearbeitungsmethodik (Bearbeitungsreihe).

## 5 Material und Methode

### 5.1 Rahmenbedingungen

Alle Versuche wurden in Laborräumen bei konstanter Luftfeuchtigkeit ( $50 \pm 5$  % rF) und einer Raumtemperatur von  $23 \pm 1$  °C durchgeführt. Alle Werkstoffe wurden nach Herstellerangaben verarbeitet.

### 5.2 Geprüfte Werkstoffe

Bei den geprüften temporären K&B-Werkstoffen handelte es sich um Mono-Methacrylate und 2-Komponenten-Systeme auf der Basis selbsthärtender multifunktionaler Bis-Acrylate ([Tabelle 5.1](#)).

**Tabelle 5.1:** Geprüfte temporäre K&B-Werkstoffe

Gruppe	Werkstoff	Hersteller	Chemische Basis	Polymerisationsmechanismus
1	Luxatemp Automix Solar	DMG	Bis-Acryl	dualpolymerisierend
2	Protemp™ 4	3 M ESPE	Bis-Acryl	autopolymerisierend
3	Dentalon Plus	Heraeus Kulzer	BMA	autopolymerisierend

[Tabelle 5.2](#) zeigt die Herstellerinformationen zu den geprüften K&B-Werkstoffe. Luxatemp Automix Solar ist ein lichthärtender temporärer Kronen-, Teilkronen-, Inlay- und Brückenwerkstoff mit initialer chemischer Härtung. Protemp™ 4 ist ein selbsthärtendes Composite zur Herstellung von temporärem Zahnersatz. Dentalon Plus ist ein selbsthärtender Werkstoff für temporäre Versorgungen, der im Pulver/Flüssigkeits-Verfahren an gemischt wird.

**Tabelle 5.2:** Herstellerinformationen zu den geprüften temporären K&B-Werkstoffen

	<b>Luxatemp Automix Solar</b>	<b>Protemp™ 4</b>	<b>Dentalon Plus</b>
<b>Zusammensetzung</b>	<p>Basispaste: multifunktionale Methacrylate (Urethanedimethacrylate, aromatische Dimethacrylate, Glycolmethacrylate)</p> <p>Katalysatorpaste: Malonsäure-Derivate</p> <p>Füllstoffe: Acrylharz, Glaspulver, Kieselerde; 44 Gew.% = 24 Vol.% (0,02-2,5 µm)</p>	<p>Basispaste: mehrfach funktionelle Methacrylsäureester.</p> <p>Katalysatorpaste: Weichmacher, Initiatoren</p> <p>Füllstoffe: Nanofüllstoffe</p>	<p>Pulver: Polyethylmethacrylat/ Polymethylacrylat und anorganische Füllstoffe</p> <p>Flüssigkeit: n-Butylmetacrylat/Urethanacrylat/Ethylmethacrylat</p>
<b>Mischungsverhältnis</b>	10:1	1:10	2 g Pulver - 1 bis 1,2 ml Flüssigkeit
<b>Verarbeitungszeit</b>	45 s-1 min	40 s	2-5 min
<b>Abbindezeit</b>	<p>chemische Abbindephase: 4 min</p> <p>lichthärtende Abbindephase: 20 s pro Brückenglied bzw. Brückenfeiler mit der Lampe oder mind. 1 min im Lichthärtöfen</p>	5 min	9,5 min
<b>Charge</b>	631117	392731	<p>Pulver: 010288</p> <p>Flüssigkeit: 010210</p>

## 5.3 Durchführung der Versuche

### 5.3.1 Prüfkörperform

Die Prüfkörperform bestand aus einem Plexiglaszylinder und einer Silikonform (Panasil Initial Contact X-light/Kettenbach Dental, Eschenburg/Deutschland). In den Plexiglaszylindern war für den mehrfachen Gebrauch an beiden Enden eine kegelförmige Bohrung eingelassen. Diese Bohrung diente den Prüfkörpern als Basis. Zur Herstellung des kreuzförmigen Oberteiles des Prüfkörpers wurde eine Silikonform über dem Plexiglaszylinder angebracht. In der Silikonform war das Negativ des Prüfkörpers enthalten. Die Ausdehnung der Prüfkörperform entsprach 10 x 10 x 5 mm. Der Messbereich befand sich jeweils im Zentrum des kreuzförmigen Prüfkörpers und entsprach einer Größe von 5 x 5 mm.



**Abb. 5.1.:** Prüfkörper im Plexiglaszylinder.

Der Plexiglaszylinder diente als Halterung des Prüfkörpers in der Bearbeitungsapparatur ([Abb. 5.1](#)). Die kreuzförmige Prüfkörperform wurde aus verschiedenen Gründen gewählt: Zum einen konnte es durch die Oberflächenbearbeitung an den Rändern der Prüfkörper zu Abrundungen kommen, welche das Messfeld einschränken konnten, zum anderen sollten Defekte im Messfeld vermieden werden, die durch das Aufsetzen des Instrumentes auf den Probekörper entstehen konnten.

### 5.3.2 Herstellung der Prüfkörper

Die Herstellung der Prüfkörper unterschied sich je nach verwendetem Werkstoff.

Um Prüfkörper aus einem MMA/PMMA-Werkstoffen herzustellen, musste das Pulver mit der Flüssigkeit per Hand vermischt werden ([Abb. 5.2](#)). Dazu wurde das Pulver langsam in einen mit Flüssigkeit gefüllten Resimixbecher (Scheu Dental, Iserlohn/Deutschland) gestreut. Anschließend



**Abb. 5.2.:** Dentalon Plus mit Resimixbecher und Zementspatel.

wurde das Pulver 20 bis 30 s mit der Flüssigkeit vermischt (Zementspatel mittel/Orbis Dental Handelsgesellschaft GmbH, Münster/Deutschland), damit es eine homogene Konsistenz bekam. Im fließfähigen Zustand wurde das Gemisch dann in die Prüfkörperform gefüllt.

Die K&B-Werkstoffe auf Bis-Acryl-Basis sind als Kartuschen-Systeme erhältlich, was die Anwendung gegenüber den MMA/PMMA-Werkstoffen erheblich vereinfachte. Zur Anwendung wurde die jeweilige Kartusche in einen Dispenser eingebracht und mit einem Mixing-Tip bestückt (Abb. 5.3). Über einen Hebel konnte nun Druck auf die



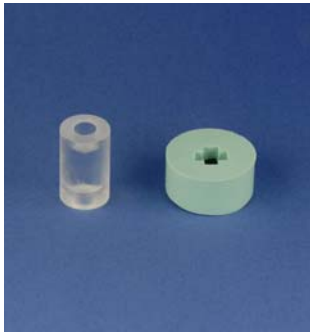
**Abb. 5.3:** Mit Mixing-Tip bestückte Kartusche im Dispenser

Kartusche ausgeübt und damit die Basis- und Katalysator-Paste in den Mixing-Tip gepresst werden. Das Verhältnis von Basis- zu Katalysator-Paste wurde durch die jeweilige Kartusche vorgegeben. Innerhalb des Mixing-Tips fand der Anmischvorgang automatisch statt. Vor Herstellung der Prüfkörper wurde eine Probe des temporären K&B-Werkstoffes verworfen, um sicher zu gehen, dass der temporäre K&B-Werkstoff homogen angemischt wurde. Unter Kontakt wurde anschließend die Prüfkörperform befüllt.

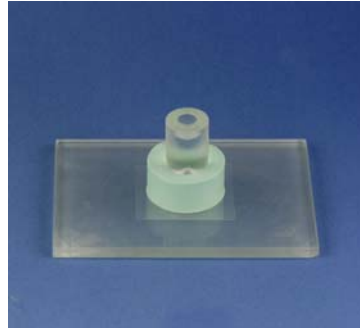
Nach dem Befüllen wurde die Silikonform mit einer Folie (Hostaphanfolie/Pützfolien, Taunusstein-Wehen/Deutschland) bedeckt, damit sich überschüssiges Material besser in der Prüfkörperform verteilen konnte und sich eine gleichmäßige und ebene Oberfläche ergab. Anschließend wurde die Prüfkörperform mit der Folie umgedreht und zum Aushärten auf eine Glasplatte (Alfred Becht GmbH, Offenburg/Deutschland) gelegt (Abb. 5.4-5.6). Nachdem der Werkstoff ausgehärtet war, wurde die Folie entfernt und die Silikonform vom Plexiglaszylinder abgezogen. Falls überstehende Ränder und Pressfahnen vorhanden waren, wurden diese entfernt. Anschließend wurden die Prüfkörper nummeriert.

Der Werkstoff Luxatemp Automix Solar musste zusätzlich lichtgehärtet werden. Dazu wurden die Prüfkörper für 90 s in das Lichthärtegerät UniXS (Heraeus Kulzer, Hanau/Deutschland) gelegt.

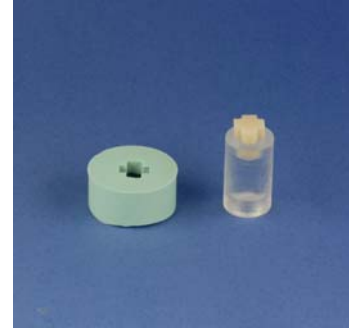




**Abb. 5.4:** Plexiglaszylinder und Silikonform.



**Abb. 5.5:** befüllte und zusammengesetzte Prüfkörperform.



**Abb. 5.6:** fertiger Prüfkörper.

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte nach einem standardisierten Verfahren (N=10 je Prüfgruppe). Die Werkstoffe wurden gemäß den Herstellerangaben verarbeitet. Um Rotationen der Prüfkörper innerhalb der Halterung zu vermeiden, wurde bei Bedarf der Prüfkörper in der Halterung mit Silikon fixiert.

### 5.3.3 *Vorversuche*

Um der klinischen Situation möglichst nahe zu kommen, sollte die zu untersuchende Prüfkörperfläche vor Bearbeitung ähnliche Oberflächenrauheitswerte aufweisen, wie eine unter klinischen Bedingungen hergestellte temporäre Versorgung. Zur Ermittlung dieser Werte wurden temporäre Versorgungen mittels Versorgungsabformungen hergestellt und deren Rauheit bestimmt.

Hierzu wurde bei 6 Probanden der Zahn 11 abgeformt (Optosil Comfort/Heraeus Kulzer, Hanau/Deutschland). Die Versorgungsabformungen wurden aus dem Löffel (Inlaylöffel klein/Detax GmbH & Co. KG, Ettlingen/Deutschland) gelöst und in der Frontalebene im Verlauf der Inzisalkante mit einem Skalpell (Disposable Scalpel No. 15/Feather Safety Razor Co., Ltd., Osaka/Japan) zerteilt. Die abgeformte Labialfläche des Zahnes 11 wurde unter leichtem Druck mit einem temporären K&B-Werkstoff befüllt. Nach Aushärtung wurde die Oberflächenrauheit der Labialfläche des K&B-Werkstoffes mit einem Profilometer (MicroProf/FRT GmbH, Bergisch Gladbach/Deutschland) bestimmt. Die mittlere Rauheit betrug dabei im Mittel  $0,43 \mu\text{m}$ .

Aufgrund dieser Rauheitswerte wurden die Prüfkörper vor Durchführung der Prüfung mit Schmirgelpapier der Körnung 600 Grit (Leco Corporation, St. Joseph, USA) unter konstantem Wasserfluss in einer Schleifmaschine (HandiMet<sup>®</sup> Rollgrinder/ Buehler GmbH, Düsseldorf/ Deutschland) bearbeitet.

### 5.3.4 Lagerung der Prüfkörper

Die Bearbeitung der Prüfkörper fand maximal 6 Stunden nach Herstellung der Prüfkörper statt, um Streuungen der Rauheitswerte durch Veränderungen des Restmonomergehalts zu minimieren.

### 5.3.5 Apparatur

Zur Herstellung der standardisierten Probekörper wurde eine semiautomatische Oberflächenbearbeitungsapparatur entwickelt. Dazu wurde ein Handstück (K9/KaVo Dental GmbH, Leutkirch/Deutschland) mit einer dafür hergestellten Halterung an einem aufrecht stehenden Arm befestigt. Innerhalb dieser Halterung war das Handstück über eine Achse (in Abb. 5.4 rot dargestellt) in der

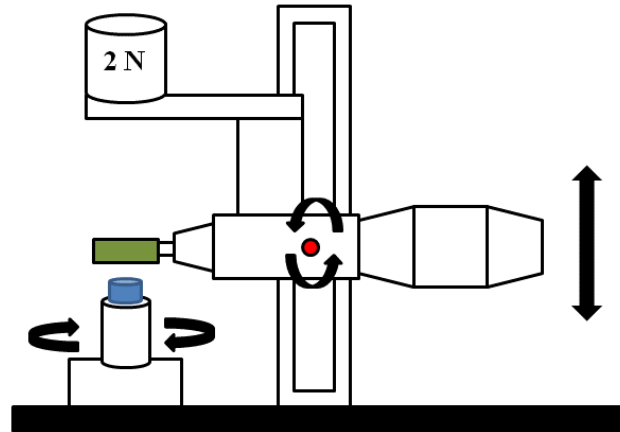


Abb. 5.4: Schematische Darstellung der Oberflächenbearbeitungsapparatur

Vertikalen beweglich. Zudem konnte die Halterung im Gesamten entlang des Arms nach oben und unten bewegt werden. Somit konnten Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Polierkörpern (in Abb. 5.4 grün dargestellt) ausgeglichen werden. Oberhalb der Halterung befand sich eine Vorrichtung zur Aufnahme der Gewichte von 200 g. Unterhalb des Polierkörpers befand sich ein Tisch mit einer Vorrichtung zur Aufnahme der Probekörperhalterung. Der Tisch war in der Tiefe beweglich. Somit konnte der Probekörper (in Abb. 5.4 blau dargestellt) bei der Bearbeitung vor und zurück bewegt werden. Gleichzeitig ermöglichte er die Drehung der Halterung.

### 5.3.6 Oberflächenbearbeitung

Die Oberflächenbearbeitung wurde je nach Versuch innerhalb der Apparatur oder per Hand durchgeführt.

Generell lässt sich die Oberflächenbearbeitung in eine Grob- und Feinausarbeitung mit anschließender Politur unterteilen. Die Grobausarbeitung wurde mit einer Hartmetallfräse durchgeführt, die den höchsten Werkstoffabtrag von allen Instrumenten aufwies. Die Feinausarbeitung wurde mit Technikpolierern und Silikonpolierern durchgeführt. Die Politur wies den geringsten Materialabtrag auf und wurde mit einer Baumwollpo-

lierbürste durchgeführt, wobei zusätzlich Poliermittel (KMG Poliermittel/Candulor AG, Wangen/Schweiz) verwandt wurde. Die [Tabelle 5.3](#) zeigt eine Übersicht über die verwendeten Instrumente.

Um innerhalb der Apparatur eine Belastung der Prüfkörper von etwa 2 N zu erreichen, wurde das Handstück (K9/KaVo Elektronisches Werk GmbH, Leutkirch/Deutschland) mit Gegengewichten austariert und anschließend mit einem Gewicht von 200 g belastet ([Abb. 5.4](#)). Die im Teller gelagerten Gewichte wurden mittels eines dünn fließenden Silikons fixiert, damit es nicht zu Veränderungen der Belastung kam. Anschließend wurde der Prüfkörper mit konstanter Drehzahl ([Tabelle 5.4](#)) und in vorgegebener Zeit (45s) bearbeitet. Die Bearbeitungszeit wurde innerhalb der Vorversuche bestimmt (siehe auch [Kapitel 11.1](#)). Hierzu wurden Probekörper des Werkstoffes Dentalon Plus hergestellt. Die Auswahl des Werkstoffes bzw. dessen Belastung erfolgte aus folgenden Gründen: Dentalon Plus ist ein MMA/PMMA-Werkstoff dessen Eigenschaften in zahlreichen Studien untersucht wurden. Zudem wird dieser Werkstoff in einigen Untersuchungen als Referenzwerkstoff geführt. Um Schwankungen der Ergebnisse aufgrund von Nachvernetzungsreaktionen zu vermeiden, wurden die Probekörper für 6000 Zyklen in einem Thermocycler (Williytec GmbH, Feldkirchen-Westerham/ Deutschland) gelagert. Die Ergebnisse des Vorversuches sind in [Tabelle 11.1](#) abgebildet. Die Bearbeitungszeiten wurden trotz unterschiedlicher Werkstoffe für alle gewählt, um die Bearbeitung zu standardisieren. Zur Oberflächenbearbeitung des Prüfkörpers wird dieser in einen seitlich verschiebbaren Tisch unterhalb des Handstückes eingebracht ([Abb. 5.5](#)). Um die Bildung von Riefen während der Oberflächenbearbeitung zu vermeiden, fand ein kontinuierlicher Wechsel der Bearbeitungsrichtung statt. Dieses wurde innerhalb der Apparatur durch kontinuierliche Seitwärtsbewegungen des Tisches und Rotationen innerhalb der Halterung gewährleistet.

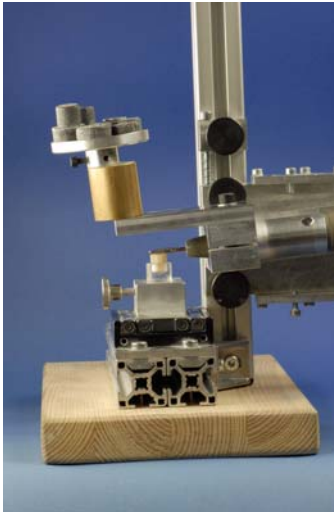


Abb. 5.4: Prüfungsapparatur.

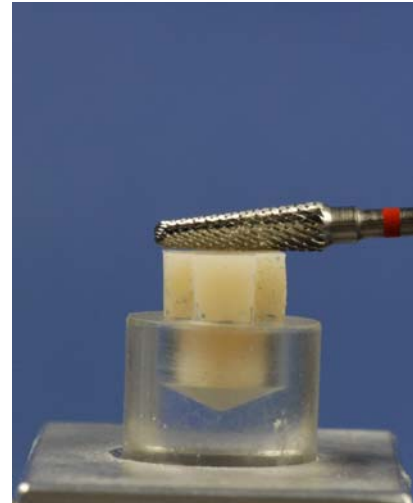
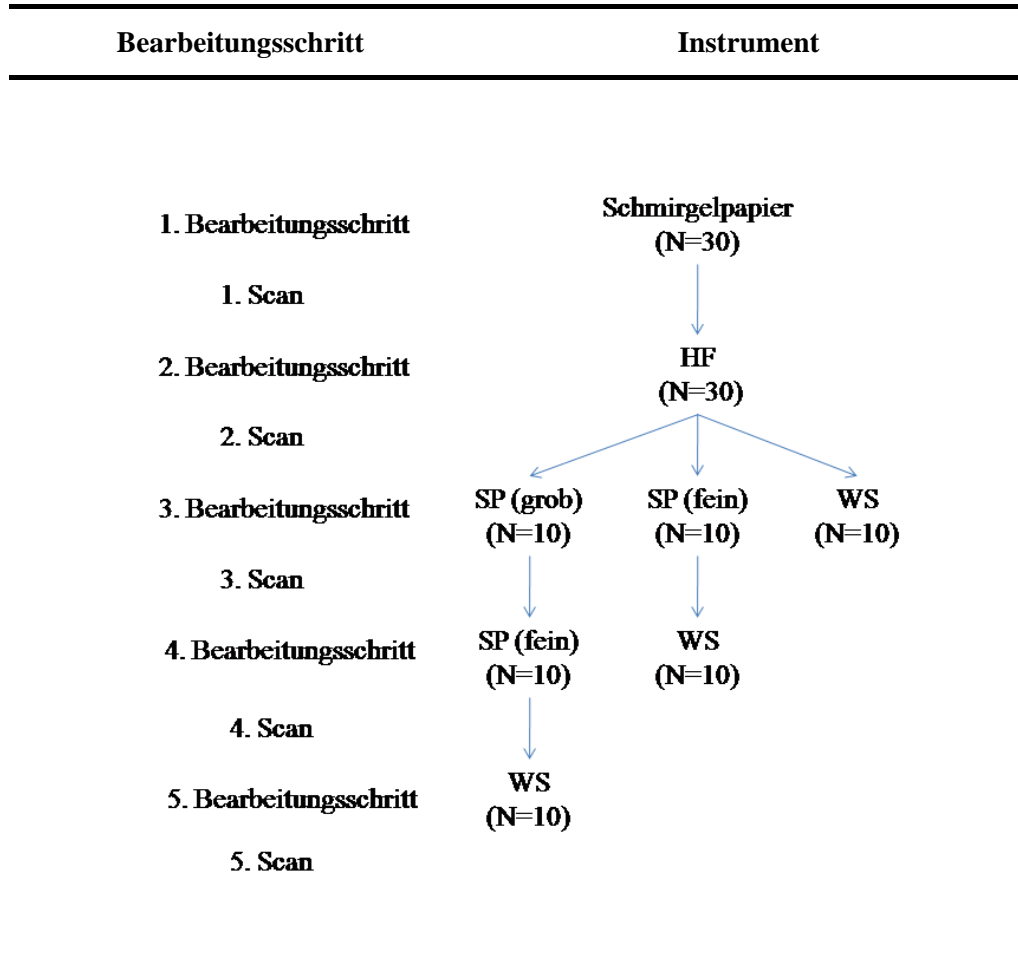


Abb. 5.5: Bearbeitung des Prüfkörpers.

**Table 5.3:** Übersicht über die verwendeten rotierenden Instrumente

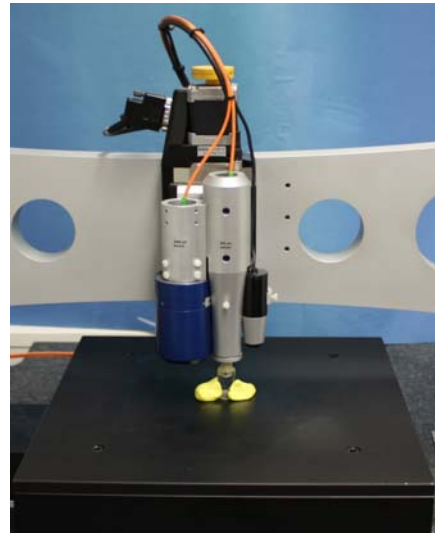
Nr.	Bezeichnung	Drehzahl in U/min	Charge	Abk.
1	Hartmetallfräse 79 FX 040 HAST	10 000	851773	HF
2	Technikpolierer 957IH	5 000	208095	SP <sup>(grob)</sup>
3	Silikonpolierer 9573S	5 000	213990	SP <sup>(fein)</sup>
4	Baumwollpolierbürste weiß 150/200	5 000	864911	WS

**Tabelle 5.4:** Schematische Darstellung des Versuchablaufes. Die Abkürzungen der Instrumente stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).



### ***Bestimmung der Rauheit***

Nach Bearbeitung der Prüfkörper wurde die Oberflächenrauheit mit einem Profilometer (MicroProfil<sup>®</sup>/Fries Research Technology GmbH, Bergisch Gladbach/Deutschland) bestimmt. Vorher wurden die Prüfkörper mit Ethanol gereinigt, um eventuelle Verschmutzungen und fettige Rückstände zu entfernen. Die Parameter zur Bestimmung der Rauheit wurden durch verschiedene DIN EN ISO Normen vorgegeben.<sup>39, 40</sup> Dabei musste die Abtastrichtung des Profilometers nach DIN EN ISO 4288<sup>39</sup> im Winkel von 90° zur letzten Bearbeitungsrichtung stehen. War die letzte Bearbeitungsrichtung nicht nachzuweisen, konnte die Abtastrichtung beliebig gewählt werden. Ebenso wurde die Messstrecke durch die DIN EN ISO 4288 Norm vorgeschrieben. In dieser Untersuchung entsprach die Messstrecke einer Länge von 4 mm. Damit entsprach der Messbereich zur Ermittlung der Oberflächenrauheit einer 4 x 1,2 mm großen Fläche, in der jeweils 12 Linien in einer Länge von 4 mm bestimmt wurden. Die 12 Linien wurden in einer Auflösung von 2 µm abgetastet. Zur Beseitigung von Ausreißern wurden nur jeweils 10 der 12 Linien zur Bestimmung der Rauheitsparameter herangezogen.



**Abb. 5.5:** Profilometer

#### ***5.3.7 Profilometer***

Das in dieser Untersuchung verwendete Profilometer funktioniert nach dem Prinzip des Weißlichtsensors. Der durch eine Halogenlampe produzierte Lichtstrahl wird von einem Objektiv gebündelt und trifft anschließend auf die zu untersuchende Oberfläche. Das Objektiv bündelt die blauen Farbanteile stärker als die roten Anteile. Demzufolge liegt der Messbereich zwischen den Brennpunkten des blauen und roten Lichtes. Innerhalb des Messbereiches wird das Licht in seinen blauen und roten Anteilen von der zu untersuchenden Oberfläche reflektiert. Das reflektierte Licht trifft durch eine Blende auf ein Spektrometer. Innerhalb des Spektrometers wird das Licht nach Farben bzw. Wellenlänge getrennt. Anhand der Wellenlänge des reflektierten Lichtes kann durch eine Datenverarbeitungssoftware ([Kapitel 5.3.9](#)) der Abstand der Oberfläche zum Objektiv errechnet werden.<sup>109</sup> Bei der Abtastung mehrerer Linien einer Oberfläche lässt sich somit ein Profil der Oberfläche erstellen.

### 5.3.8 *Erfassung der Daten*

Die Daten wurden mit dem Programm Acquire (Acquire 1.30/Fries Research Technology GmbH, Bergisch Gladbach/Deutschland) erfasst. Acquire ist die zum MicroProf<sup>®</sup> zugehörige Steuer- und Datenerfassungssoftware. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm MARK III (FRT MARK III (Version 3.8/ Fries Research Technology GmbH, Bergisch Gladbach/Deutschland).

Die Daten wurden in einer Exceldatei (Microsoft<sup>®</sup> Office Excel, Microsoft Deutschland GmbH, Unterschleißheim/ Deutschland) gesammelt, um sie später in SPSS 15.0 (Fa. SPSS Inc., Columbus/ USA) statistisch auswerten zu können.

## 5.4 Statistische Analyse

Im Rahmen einer mehrfaktoriellen ANOVA ( $p = 0,05$ ) wurde der Einfluss der Parameter des Bearbeitungsverfahrens und der Werkstoffe auf die Rauheit hin überprüft. Aufgrund eines balancierten Datendesigns konnte von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden.

Zunächst wurde die Homogenität der Varianzen mit dem Levene-Test untersucht. Die Varianzen der gemittelten Rautiefe  $R_z$  waren innerhalb der Werkstoffe signifikant ( $p < 0,05$ ). Somit wurde innerhalb des Gruppenvergleichstests anstelle des Tukey-Tests der Games-Howell-Test herangezogen. Die Tabelle der homogenen Untergruppen basierte auf dem Tukey-Test und hatte keinen Einfluss auf die statistische Auswertung.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurden Boxplots gewählt, um die Verteilung der Werte innerhalb einer Bearbeitungsreihe und zwischen den Bearbeitungsreihen darzustellen.

Ein Boxplot ist ein kastenähnliches Diagramm zur Darstellung von statistisch ermittelten Werten. Dieser besteht aus einem Rechteck, der Box, die durch einen horizontalen Strich, den Median, geteilt wird. In der Box befinden sich 50 % der ermittelten Werte. Damit teilt der Median die Box in zwei Quartile, die somit 25 % der Werte enthalten. An beiden Enden der Box befinden sich senkrechte Striche, die die Box verlängern. Diese Striche nennt man Whiskers. Die Whiskers entsprechen zusammen den restlichen 50 % der Werte. Die mit einem Kreis oder einem Stern angegebenen Werte sind Extremwerte, die mehr als anderthalb Kastenlängen oder mehr als drei Kastenlängen außerhalb der Box liegen.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Hauptzielkriterium

Das Oberflächenbearbeitungsverfahren per Hand oder durch die Apparatur ergaben nach statistischer Auswertung keinen Unterschied ( $p > 0,05$ ; Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3). Zur Verdeutlichung der Ergebnisse und zum besseren Vergleich der Bearbeitungsverfahren wurden die Standardabweichungen der einzelnen Werte in die Tabellen mit eingefügt.

**Tabelle 6.1:** Ra, Rz und Rmax Werte (Standardabweichung) des Werkstoffes Protemp™ 4 in  $\mu\text{m}$ . Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte (n 10) stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Werte, die sich signifikant unterscheiden, sind mit dem Zeichen \* gekennzeichnet.

Protemp™ 4						
	Hand			Apparatur		
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]
<b>SP+SP+WS</b>						
S	0,36(0,05)	2,96(0,38)	3,75 (0,80)	0,40(0,05)	3,07(0,38)	3,74(0,42)
HF	1,70(0,16)	10,95(0,98)	14,51(1,24)	1,43(0,17)	9,58(1,24)	13,19(3,19)
SP <sup>(grob)</sup>	1,10(0,15)	7,32(1,02)	10,58(1,83)	1,16(0,15)	7,85(0,80)	11,07(1,36)
SP <sup>(fein)</sup>	0,71(0,10)	4,41(0,62)	6,48(1,07)	0,70(0,15)	4,42(0,73)	6,91(1,29)
WS	0,42(0,11)	2,91(0,59)	4,79(0,78)	0,39(0,10)	2,66(0,61)	4,38(0,94)
<b>SP+WS</b>						
S	0,44(0,05)*	3,49(0,47)	4,30(0,71)*	0,45(0,04)*	3,48(0,28)	4,55(0,38)*
HF	1,91(0,24)	11,55(1,14)	14,77(1,71)	1,48(0,29)	9,65(1,61)	12,21(2,11)
SP <sup>(fein)</sup>	1,13(0,17)	5,69(0,73)	8,02(1,27)	0,80(0,33)	4,46(1,56)	6,37(2,32)
WS	0,87(0,18)*	4,07(0,66)	5,75(0,70)*	0,56(0,19)*	2,81(1,15)	4,01(1,39)*
<b>WS</b>						
S	0,37(0,04)	2,96(0,39)	3,74(0,97)	0,29(0,03)	2,35(0,18)	2,89(0,38)
HF	1,60(0,31)	10,31(1,59)	13,66(2,43)	1,65(0,20)	10,57(1,23)	13,38(1,74)
WS	0,80(0,19)	4,77(1,21)	6,26(1,37)	0,99(0,33)	5,76(1,54)	7,44(1,85)



**Tabelle 6.2:** Ra, Rz und Rmax Werte (Standardabweichung) des Werkstoffes Luxatemp Automix Solar in  $\mu\text{m}$ . Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte (n 10) stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Werte, die sich signifikant unterscheiden, sind mit dem Zeichen \* gekennzeichnet.

<b>Luxatemp Automix Solar</b>						
	<b>Hand</b>			<b>Apparatur</b>		
	<b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rmax [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rmax [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
<b>SP+SP+WS</b>						
S	0,31(0,04)	2,38(0,21)	3,03(0,50)	0,33(0,02)	2,63(0,29)	3,57(0,85)
HF	1,35(0,30)	6,75(1,28)	8,61(1,63)	1,06(0,26)	5,76(1,10)	8,41(2,36)
SP <sup>(grob)</sup>	0,46(0,10)	3,13(0,55)	4,16(0,95)	0,45(0,09)	2,90(0,34)	3,80(0,98)
SP <sup>(fein)</sup>	0,35(0,06)	2,42(0,40)	3,05(0,62)	0,31(0,07)	2,04(0,32)	2,64(0,38)
WS	0,22(0,03)	1,55(0,16)	2,03(0,32)	0,26(0,06)	1,62(0,32)	2,10(0,50)
<b>SP+WS</b>						
S	0,30(0,02)	2,44(0,31)	3,08(0,73)	0,41(0,08)	2,90(0,38)	3,62(0,85)
HF	1,31(0,28)	7,08(1,00)	10,18(2,23)	1,17(0,24)	6,47(1,14)	9,65(2,88)
SP <sup>(fein)</sup>	0,69(0,13)	3,92(0,65)	5,22(0,89)	0,82(0,23)	3,93(1,18)	5,24(1,52)
WS	0,52(0,10)	2,78(0,46)	3,66(0,61)	0,77(0,25)	3,36(0,92)	4,56(1,38)
<b>WS</b>						
S	0,36(0,06)	2,70(1,04)	3,33(0,55)	0,32(0,04)	2,56(0,48)	3,28(1,09)
HF	1,46(0,37)	7,26(1,18)	10,01(2,33)	0,99(0,21)	5,80(1,23)	7,96(2,51)
WS	1,16(0,27)*	5,02(1,02)	6,41(1,47)	0,67(0,20)*	3,74(1,02)	6,08(2,46)

**Tabelle 6.3:** Ra, Rz und Rmax Werte (Standardabweichung) des Werkstoffes Dentalon Plus in  $\mu\text{m}$ . Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte (n 10) stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Werte, die sich signifikant unterscheiden, sind mit dem Zeichen \* gekennzeichnet.

<b>Dentalon Plus</b>						
	<b>Hand</b>			<b>Apparatur</b>		
	<b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rmax [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rmax [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
<b>SP+SP+WS</b>						
S	0,44(0,04)	3,66(0,37)	4,69(0,85)	0,44(0,06)	3,45(0,40)	4,40(0,59)
HF	1,80(0,52)	11,08(2,51)	15,65(3,97)	1,60(0,42)	10,92(3,19)	17,42(9,06)
SP <sup>(grob)</sup>	0,57(0,22)	3,83(1,15)	5,35(2,10)	0,51(0,09)	3,62(0,50)	4,99(1,07)
SP <sup>(fein)</sup>	0,30(0,08)	2,02(0,63)	3,00(1,25)	0,28(0,06)	1,86(0,53)	2,96(1,20)
WS	0,17(0,04)	1,01(0,19)	1,44(0,33)	0,17(0,05)	1,09(0,34)	1,82(0,56)

<b>SP+WS</b>						
S	0,43(0,04)	3,59(0,42)	4,92(1,52)	0,46(0,06)	3,80(0,86)	4,88(1,46)
HF	1,97(0,55)	12,98(3,95)	19,72(7,55)	1,70(0,51)	11,50(3,90)	19,47(11,82)
SP <sup>(fein)</sup>	1,16(0,24)	6,93(1,86)	11,64(4,41)	0,94(0,30)	6,74(1,87)	12,88(6,84)
WS	0,35(0,18)	2,30(1,00)	3,67(1,49)	0,55(0,31)	3,46(1,77)	5,62(2,91)
<b>WS</b>						
S	0,49(0,06)	3,92(0,39)	4,84(0,60)	0,50(0,07)	4,29(0,98)	7,00(3,67)
HF	1,69(0,32)	10,66(2,58)	16,69(7,26)	1,81(0,52)	11,64(3,02)	18,06(5,39)
WS	0,71(0,55)	3,36(2,85)	4,89(3,50)	1,16(0,46)	7,07(2,15)	10,53(3,52)

## 6.2 Nebenzielkriterien

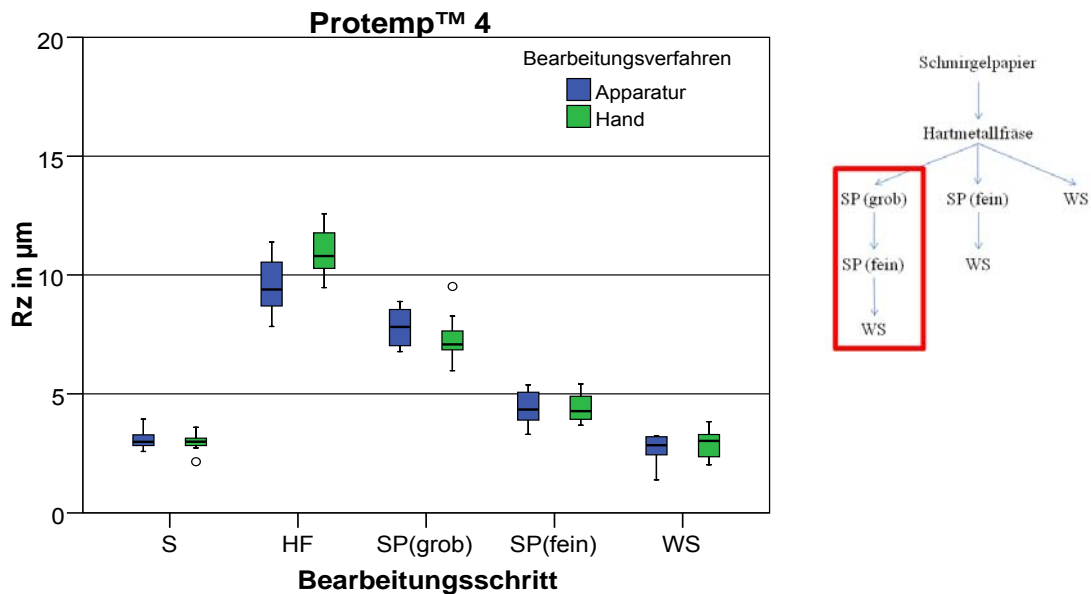
Aus den Ergebnissen ließen sich folgende Schlüsse für die Nebenziele ziehen: Die Oberflächenrauheit ausgearbeiteter und polierter Oberflächen temporärer K&B-Werkstoffe ist abhängig von der chemischen Provenienz des verwendeten Werkstoffes und ebenso von der verwendeten Bearbeitungsmethodik.

Die Ergebnisse der Zielvariablen Ra, Rz und Rmax in Bezug auf die einzelnen Bearbeitungsschritte und -reihen sind in den [Abb. 6.1](#) bis [6.22](#) dargestellt.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der profilometrischen Untersuchungen dargestellt. Die Darstellung erfolgt in Boxplots. Die Boxplotdiagramme zeigen die gemittelte Rautiefe Rz und die maximale Rautiefe Rmax der verschiedenen Oberflächenbearbeitungsverfahren in  $\mu\text{m}$ . Auf die Darstellung des Rmax-Wertes soll im weiteren Verlauf nicht weiter eingegangen werden, da er nur zur Verdeutlichung des Oberflächenprofils dient. Um die Sensitivität des Rz-Wertes durch zu große Intervalle nicht zu mindern, wurden für den Rz- und Rmax-Wert unterschiedliche Skalen benutzt. Die Bedeutung der makroskopischen Aufnahmen wird in der Diskussion erläutert.

## 6.3 Protemp™ 4

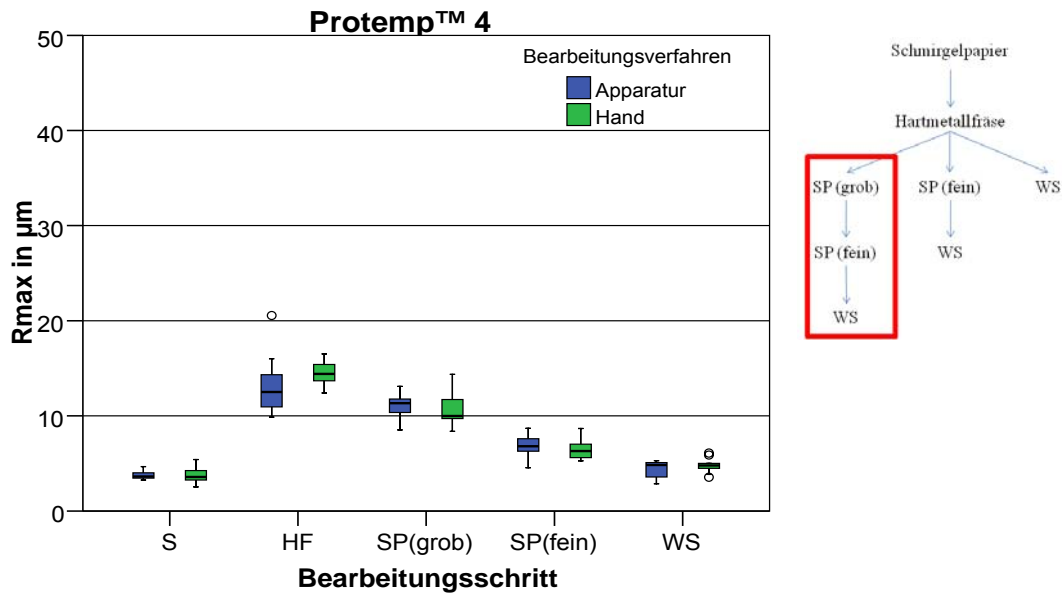
### 6.3.1 Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel



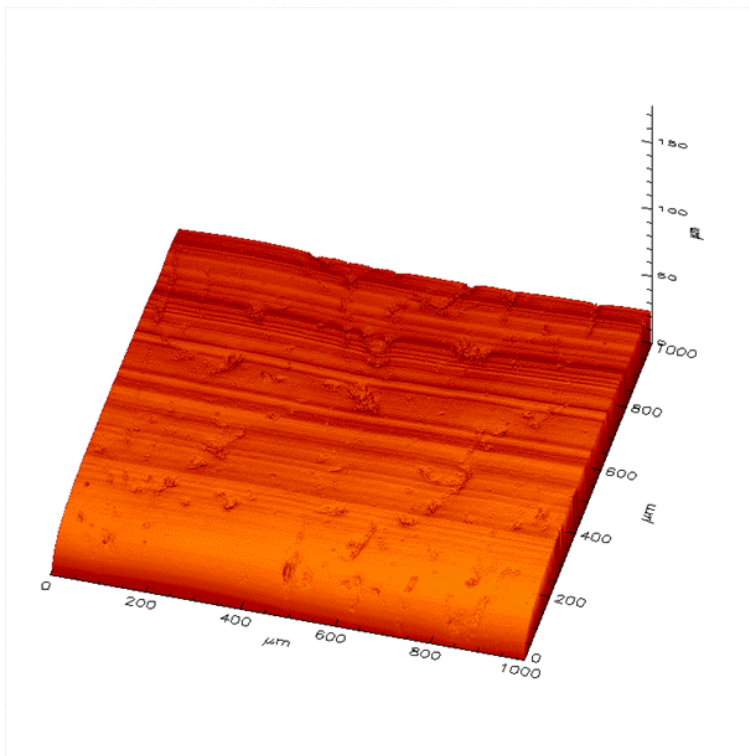
**Abb. 6.1:** Darstellung der gemittelten Rautiefe  $R_z$  der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.

Aufbauend auf den oben genannten Daten werden die Ergebnisse dieser Bearbeitungsgruppe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel“ näher erläutert. Den Bearbeitungsschritten „Schmirgelpapier“ und „Hartmetallfräse“ schlossen sich die Schritte „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>“, „Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>“ und „Wollschwabbel“ an. Durch die Oberflächenbearbeitung mit den Silikonpolierern mit anschließender Politur durch die Wollschwabbel wurde die Oberflächenrauheit wieder gesenkt. Innerhalb der Oberflächenbearbeitung mit der Apparatur erreichte der Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“ mit einer gemittelten Rautiefe von  $R_z$  2,66  $\mu\text{m}$  einen um 0,41  $\mu\text{m}$  niedrigeren Wert als die Oberflächenbearbeitung mit der Hand. Somit wurden in dieser Bearbeitungsgruppe bei beiden Bearbeitungsarten Werte nach Bearbeitung erreicht, die den Ausgangswert unterschritten. Allerdings war die Differenz zwischen dem Ausgangswert der Handbearbeitung und dem nach Bearbeitung mit 0,06  $\mu\text{m}$  eher zu vernachlässigen.

Die Abb. 6.1 zeigt das recht ausgeglichene Verhältnis zwischen Hand- und Apparaturbearbeitung in dieser Bearbeitungsreihe.



**Abb. 6.2:** Darstellung der maximalen Rautiefe  $R_{max}$  der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer ( $SP^{(grob)}$ ), feiner Silikonpolierer ( $SP^{(fein)}$ ) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

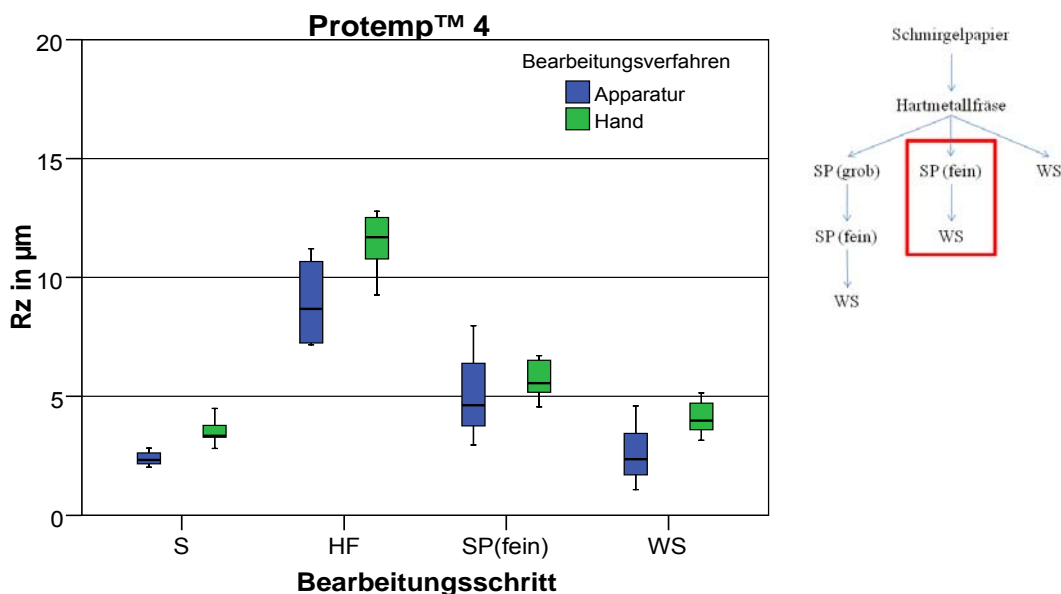


**Abb.6.3:** Diese Abbildung zeigt die profilometrische Darstellung der Oberfläche eines Probekörpers des Werkstoffes Protemp™ 4 aus der Bearbeitungsreihe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel“ mit dem Bearbeitungsverfahren Apparatur. Der zuletzt durchgeführte Bearbeitungsschritt ist „Wollschwabbel“ gewesen. Die dabei abgebildete 1 mm<sup>3</sup> große Oberfläche ist mit einer Auflösung von 1 µm dargestellt. Die horizontalen Streifen sind durch das Messverfahren bedingte Farbveränderungen und

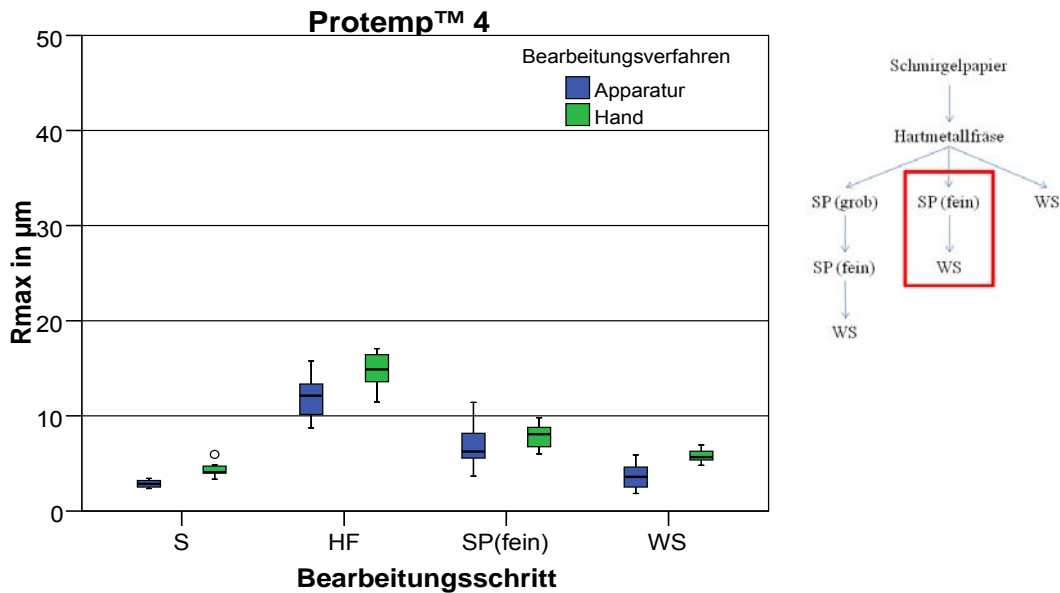
dienen der dreidimensionalen Darstellung. Die Rauheitswerte dieses Probekörpers sind wie folgt: Ra 0,38  $\mu\text{m}$ , Rz 2,44  $\mu\text{m}$ , Rmax 3,58  $\mu\text{m}$

### 6.3.2 Bearbeitungsreihe: *Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>* + *Wollschwabbel*

Die Bearbeitungsgruppe „*Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>*+*Wollschwabbel*“ unterschied sich von der vorherigen durch das Fehlen des groben *Silikonpolierers*. Die Anordnung der Daten ähnelt der Bearbeitungsgruppe „*Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>*+*Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>*+ *Wollschwabbel*“. Allerdings lässt sich ein deutlicher Unterschied bei den Bearbeitungsschritten „*Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>*“ und „*Wollschwabbel*“ in *Abb. 6.4* erkennen. Während die erhobenen Werte der Apparatur mit einer maximalen Differenz von 0,15  $\mu\text{m}$  von den Werten der vorherigen Bearbeitungsgruppe abwichen, unterschieden sich die Werte der Handbearbeitung deutlich voneinander. Der definitive Wert der Handbearbeitungsgruppe überstieg mit Rz 4,07  $\mu\text{m}$  auch den Ausgangswert von 3,49  $\mu\text{m}$ . Diese Differenz zeigt sich in allen Schritten dieser Bearbeitungsreihe.



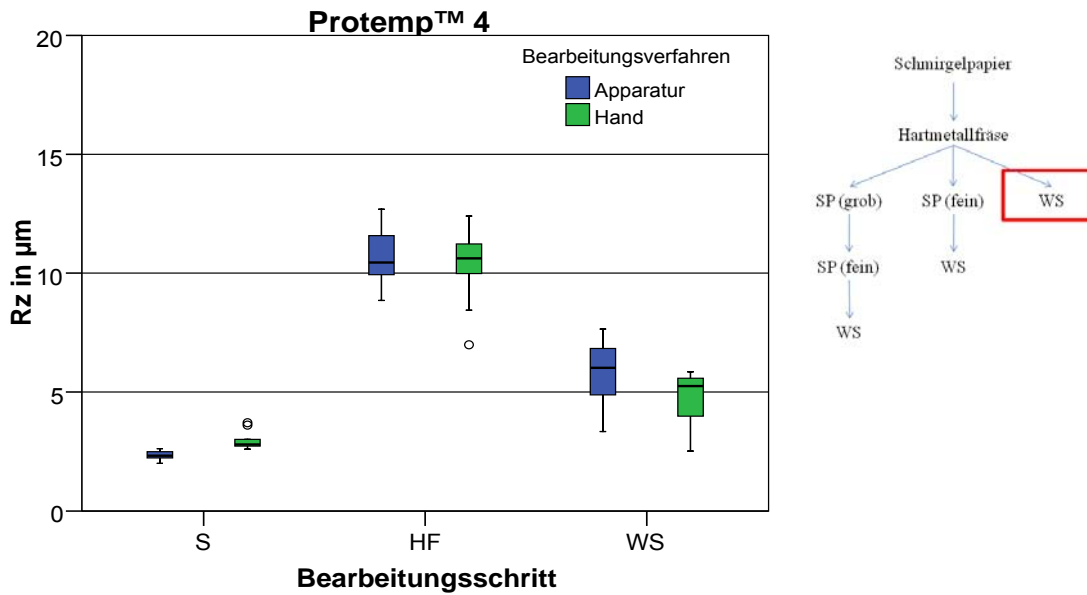
**Abb. 6.4:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner *Silikonpolierer* (SP<sup>(fein)</sup>) und *Wollschwabbel* (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.



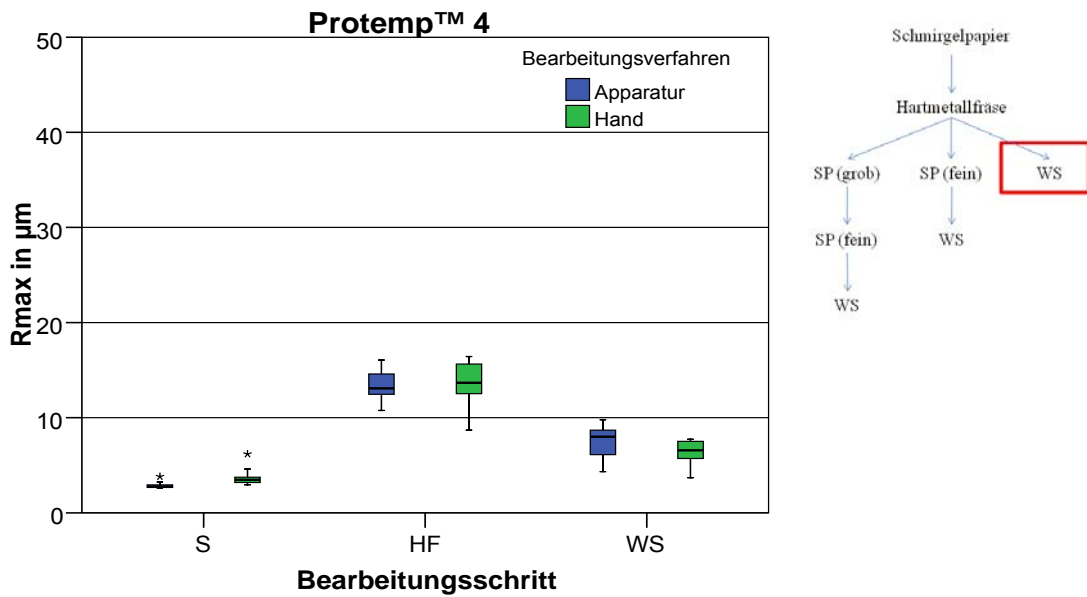
**Abb. 6.5:** Darstellung der maximalen Rautiefe  $R_{max}$  der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

### 6.3.3 Bearbeitungsreihe: Wollschwabbel

Die letzte Bearbeitungsgruppe „**Wollschwabbel**“ des Werkstoffes Protemp™ 4 wies nur einen Bearbeitungsschritt auf, der sich von den anderen Bearbeitungsgruppen unterschied. Durch das Fehlen der Bearbeitungsschritte „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>“ und „Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>“ war die Feststellung definitiver Werte, wie sie aus den vorherigen Bearbeitungsgruppen bekannt waren, nicht möglich. Mit einer gemittelten Rautiefe von 5,76 µm wies das Bearbeitungsverfahren mit der Apparatur um 0,99 µm höhere Rauheitswerte auf als das mit der Hand. Zum Vergleich zwischen den Bearbeitungsreihen zeigten die definitiven Werte dieser Bearbeitungsreihe höhere Rauheitswerte auf, als die Werte des Bearbeitungsschrittes „Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>“ aus der Bearbeitungsgruppe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>+Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>+Wollschwabbel“. Im Vergleich zur vorangegangenen Bearbeitungsreihe zeigte diese Reihe eine annähernd gleiche Verteilung der Werte auf.



**Abb. 6.6:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.



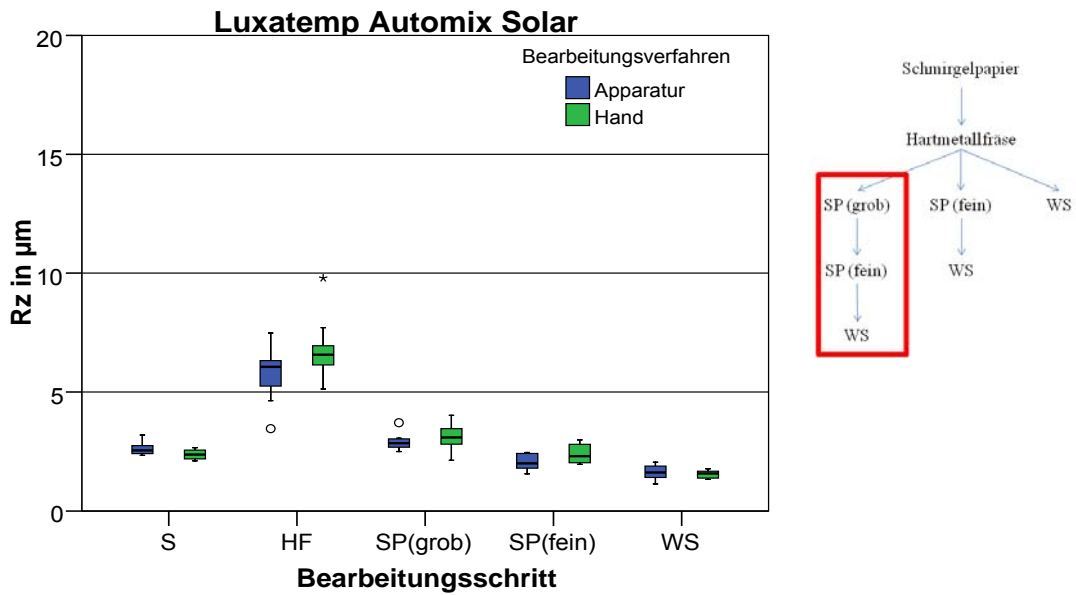
**Abb. 6.7:** Darstellung der maximalen Rautiefe Rmax der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

## 6.4 Luxatemp Automix Solar

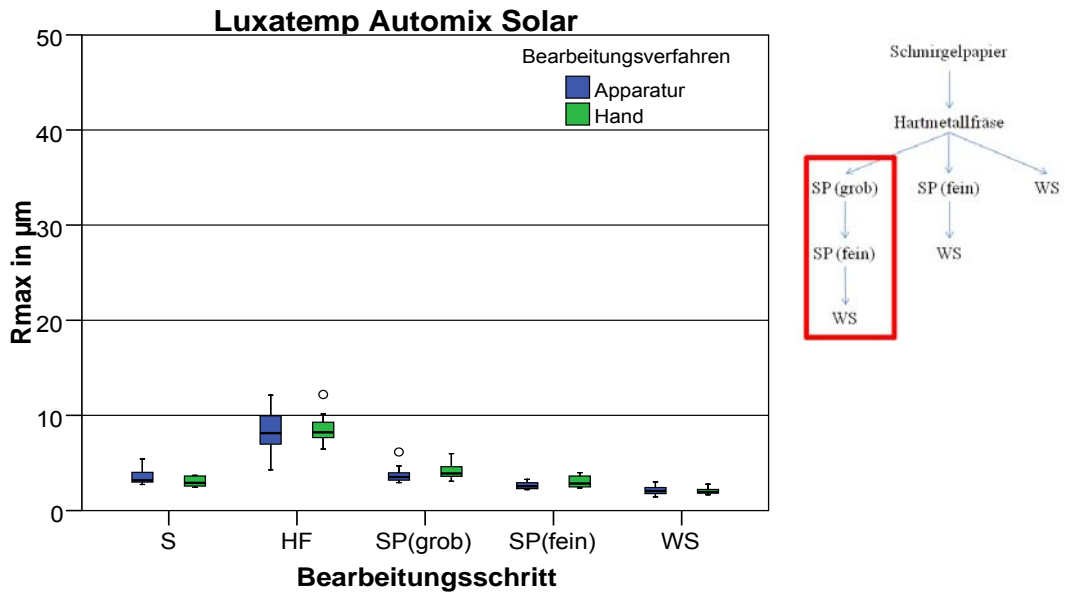
### 6.4.1 *Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel*

Im Hinblick auf die Bearbeitungsgruppe „**Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>+Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>+Wollschwabbel**“ erreichten beide Bearbeitungsverfahren mit Rz 1,55 µm bei der Handbearbeitung und mit Rz 1,62 µm bei der Apparaturbearbeitung relativ niedrige Rauheitswerte. Bezogen auf den Schwellenwert von Ra 0,2 µm war die Differenz mit Ra 0,22 µm (Hand) und Ra 0,26 µm (Apparatur) nur minimal. Die Ausgangsgruppe „Schmirgelpapier“ wies in dieser Untersuchung die niedrigsten Werte auf (Ø Luxatemp S 2,61 µm). Damit war der Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ bei Luxatemp Automix Solar im Gesamten 0,54 µm niedriger als der Durchschnitt aller Werte des Bearbeitungsschrittes „Schmirgelpapier“. Gleiches galt für den Bearbeitungsschritt Hartmetallfräse. Mit einer Differenz von 2,95 µm war der Wert bei der Bearbeitung mit der Hartmetallfräse niedriger als der Durchschnitt der gesamten Werte des Bearbeitungsschrittes „Hartmetallfräse“. In Bezug auf die verschiedenen Bearbeitungsverfahren beim Werkstoff Luxatemp Automix Solar ergab sich ein unklares Bild. Beim Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ wies die Bearbeitung mit der Hand mit Rz 2,51 µm den um 0,19 µm niedrigeren Wert auf. Hingegen weist der Bearbeitungsschritt „Hartmetallfräse“ durch die Bearbeitung mit der Apparatur mit Rz 6,01 µm den um 1,02 µm niedrigeren Wert auf. Im Allgemeinen ist in der [Abb. 6.8](#), besonders im Vergleich mit der gleichen Bearbeitungsgruppe von Protemp™ 4, sichtbar, dass die Werte relativ homogen sind und es nur zu geringen Veränderungen zwischen den verschiedenen Bearbeitungsschritten kam.

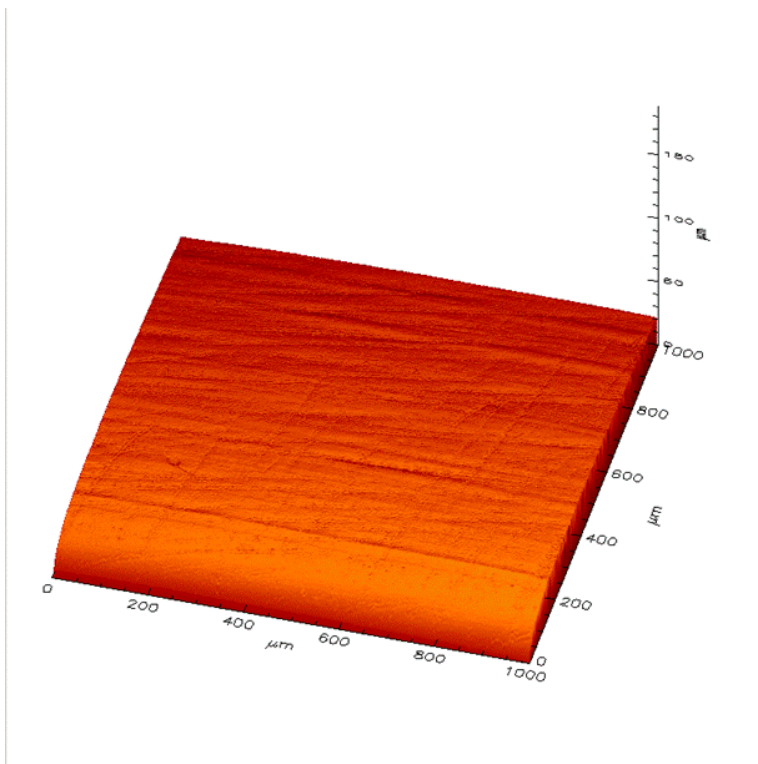




**Abb. 6.8:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.



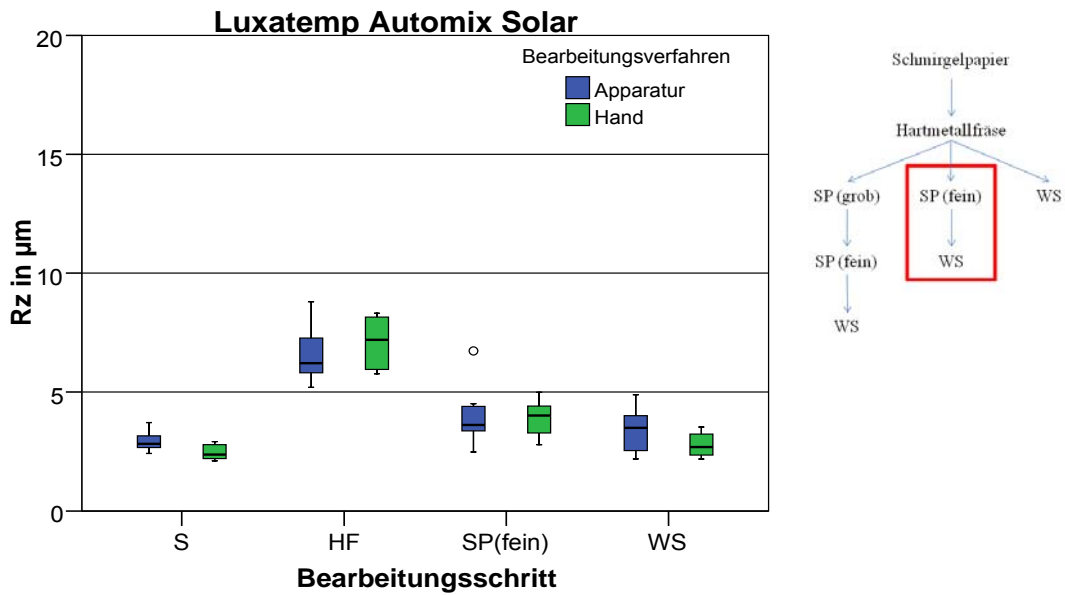
**Abb. 6.9:** Darstellung der maximalen Rautiefe Rmax der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.



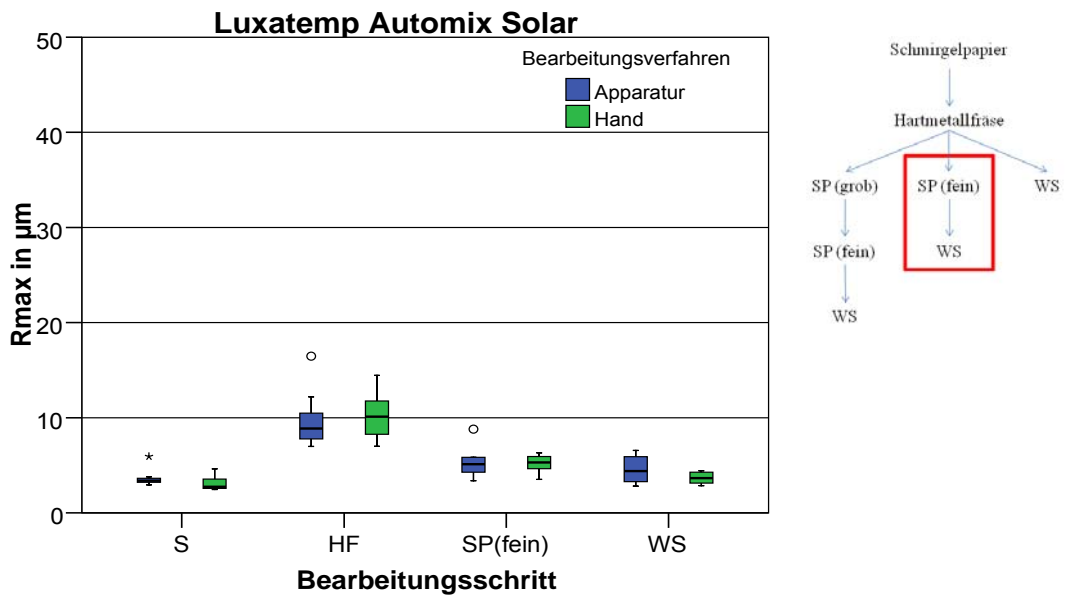
**Abb.6.10:** Diese Abbildung zeigt die profilometrische Darstellung der Oberfläche eines Probekörpers des Werkstoffes Luxatemp Automix Solar aus der Bearbeitungsreihe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel“ mit dem Bearbeitungsverfahren Apparatur. Der zuletzt durchgeführte Bearbeitungsschritt ist „Wollschwabbel“ gewesen. Die Rauheitswerte dieses Probekörpers sind wie folgt: Ra 0,21 µm, Rz 1,47 µm, Rmax 1,82 µm

#### **6.4.2 Bearbeitungsreihe: Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel**

In der Bearbeitungsgruppe „**Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel**“ zeichnete sich das Fehlen des Bearbeitungsschrittes „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>“ besonders deutlich ab. Die Werte wiesen nach Bearbeitung der Hand- und Apparaturbearbeitung mit Rz 2,78 µm und Rz 3,36 µm fast den doppelten Wert des gleichen Bearbeitungsschrittes der vorherigen Bearbeitungsgruppe auf. Zudem wiesen die Werte eine höhere Streuung auf.



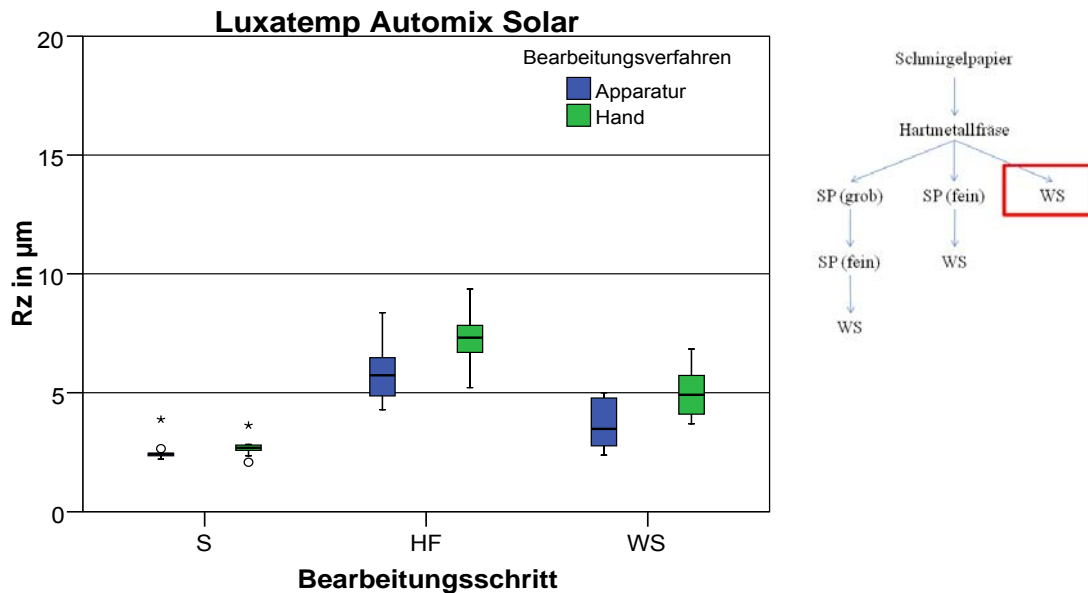
**Abb. 6.11:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.



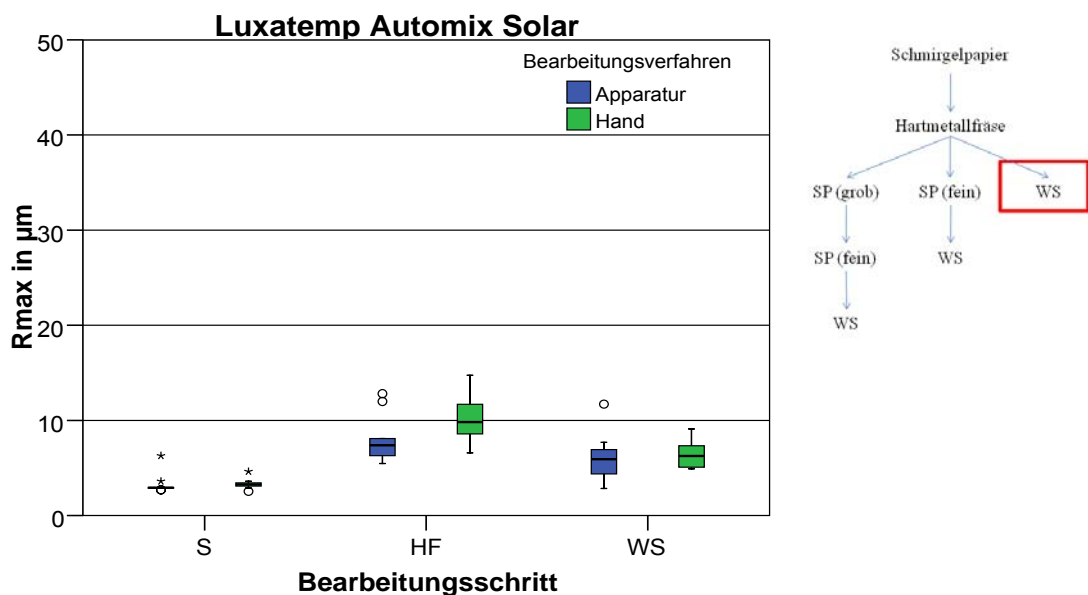
**Abb. 6.12:** Darstellung der maximalen Rautiefe Rmax der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

### 6.4.3 Bearbeitungsreihe: Wollschwabbel

Die Bearbeitungsgruppe „Wollschwabbel“ folgte der Tendenz der vorherigen Bearbeitungsreihen. Die Streuung der Werte stieg an und ebenso die Differenz der Werte zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten. Auffallend ist, dass die Handbearbeitung in dieser Bearbeitungsreihe wesentlich schlechter abschnitt.



**Abb. 6.13:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.

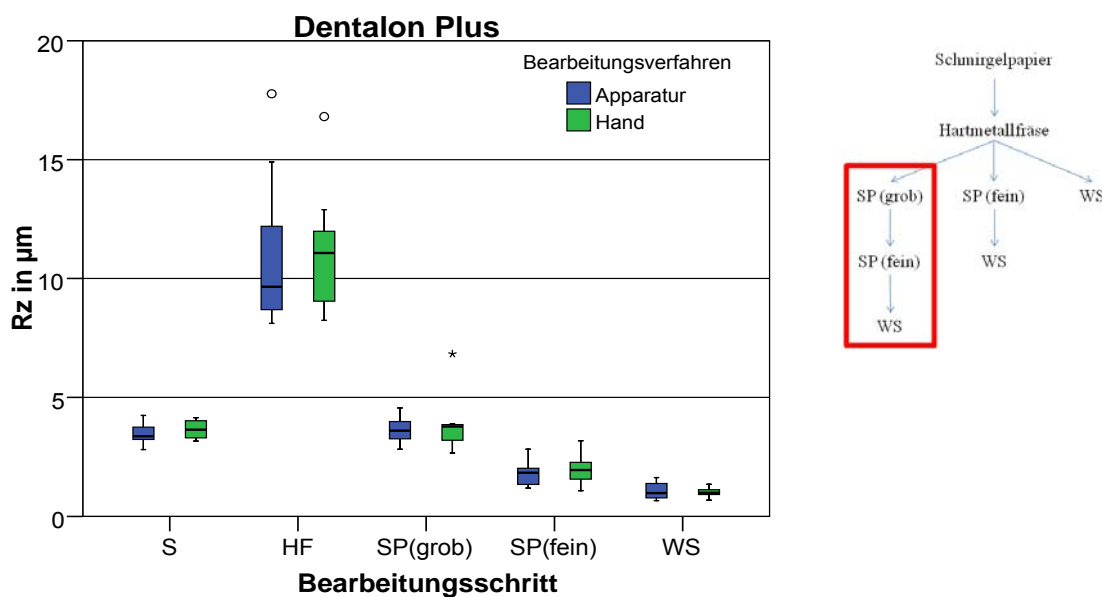


**Abb. 6.14:** Darstellung der maximalen Rautiefe Rmax der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

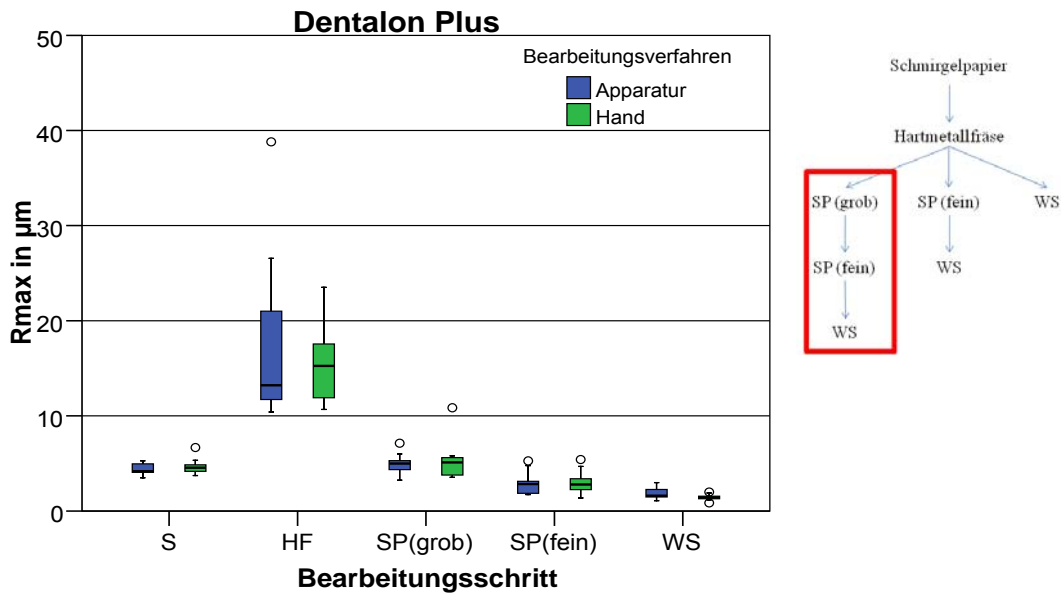
## 6.5 Dentalon Plus

### 6.5.1 Bearbeitungsreihe: *Silikonpapier<sup>(grob)</sup>* + *Silikonpapier<sup>(fein)</sup>* + *Wollschwabbel*

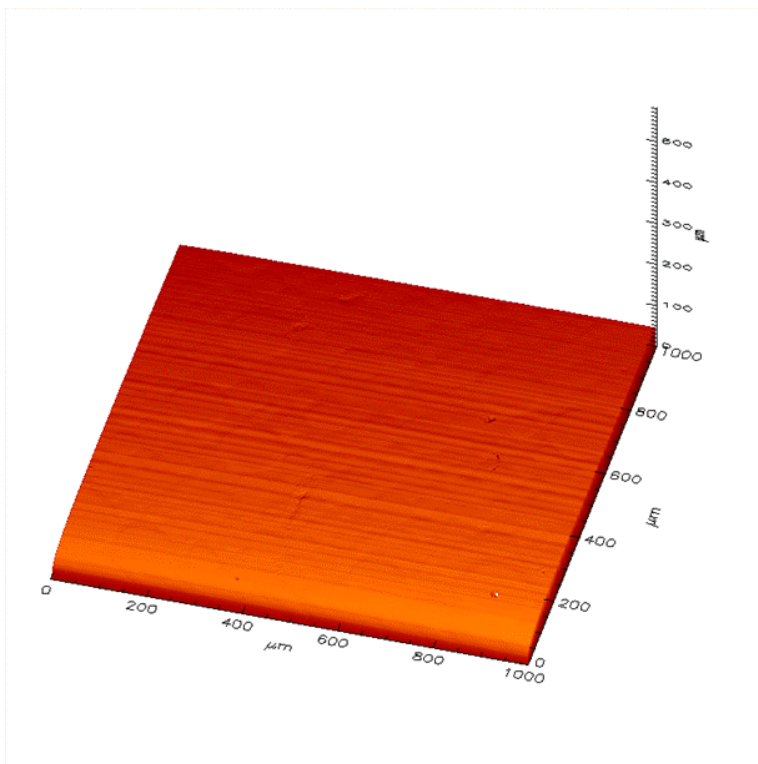
Wie auch bei den anderen Werkstoffen zeichnete sich die Bearbeitungsgruppe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>+Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>+Wollschwabbel“ durch eine geringe Streuung und niedrige Werte nach Bearbeitung aus. Wie oben bereits erwähnt, zeichnete sich der Werkstoff zudem durch hohe Rauheitswerte der Bearbeitungsschritte „Schmirgelpapier“ und „Hartmetallfräse“ aus, was sich grafisch in der hohen Streuung des Bearbeitungsschrittes „Hartmetallfräse“ darstellte. Ansonsten folgten die Bearbeitungsreihen dem bekannten Schema.



**Abb. 6.15:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer ( $\text{SP}^{(\text{grob})}$ ), feiner Silikonpolierer ( $\text{SP}^{(\text{fein})}$ ) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.



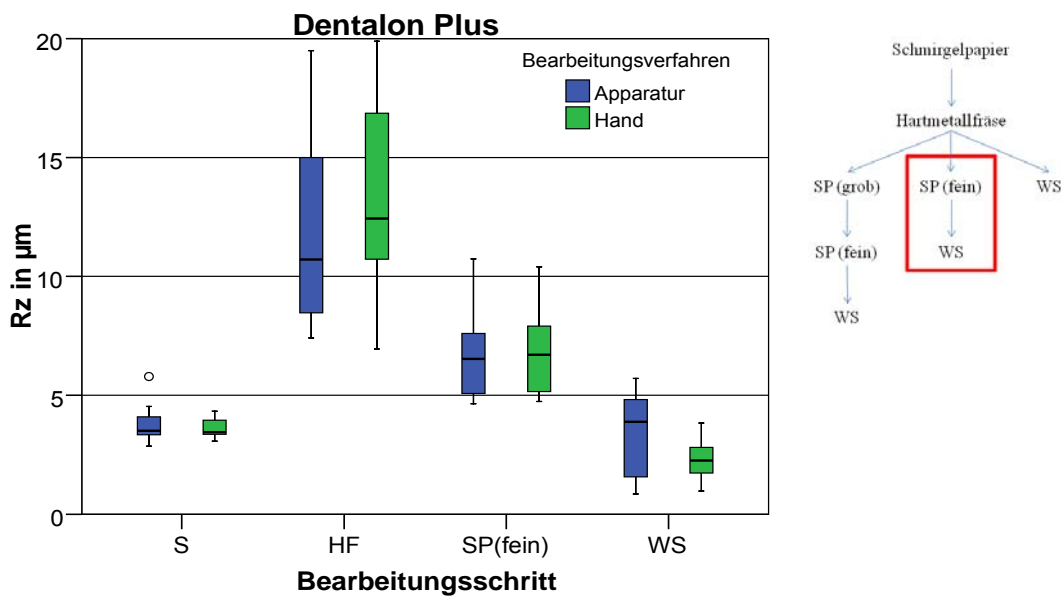
**Abb. 6.16:** Darstellung der maximalen Rautiefe  $R_{max}$  der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer ( $SP^{(grob)}$ ), feiner Silikonpolierer ( $SP^{(fein)}$ ) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.



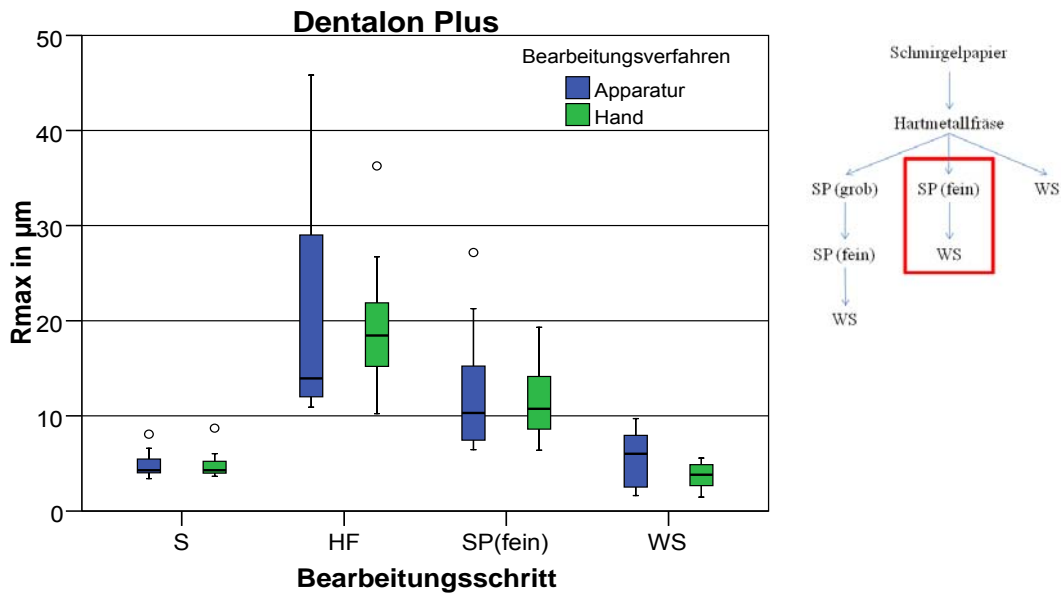
**Abb. 6.17:** Diese Abbildung zeigt die profilometrische Darstellung der Oberfläche eines Probekörpers des Werkstoffes Dentalon Plus aus der Bearbeitungsreihe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel“ mit dem Bearbeitungsverfahren Apparatur. Der zuletzt durchgeführte Bearbeitungsschritt ist „Wollschwabbel“ gewesen. Die Rauheitswerte dieses Probekörpers sind wie folgt:  $R_a$  0,11 µm,  $R_z$  0,68 µm,  $R_{max}$  0,85 µm

### 6.5.2 Bearbeitungsreihe Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Wollschwabbel

Wie auch aus den Bearbeitungsreihen der anderen Werkstoffe bekannt war, kam es bei der Bearbeitungsgruppe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>+Wollschwabbel“ zu einer hohen Streuung der Werte. Durch das Fehlen des Bearbeitungsschrittes „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup>“ konnte die Streuung nicht minimiert werden. Es ist allerdings anzumerken, dass im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsreihen dieses Werkstoffes die Rauheitswerte des Bearbeitungsschrittes „Hartmetallfräse“ mit einer großen Streuung hoch ausfielen. Auch hier wurden im Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“ die Rauheitswerte der vorherigen Bearbeitungsgruppe nicht erreicht. Schon der Bearbeitungsschritt „Silikonpolierer<sup>(fein)</sup>“ erreichte im Vergleich zur vorherigen Bearbeitungsreihe fast doppelte so hohe Rauheitswerte. In Bezug auf die verschiedenen Bearbeitungsverfahren ließ sich, außer im Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“, kein großer Unterschied erkennen.



**Abb. 6.18:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmurgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.

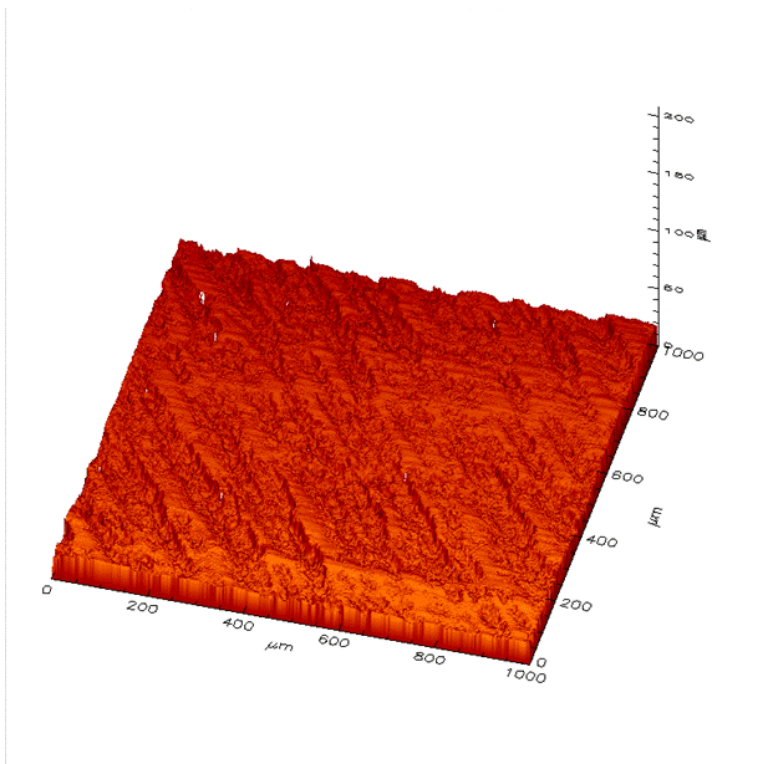


**Abb. 6.19:** Darstellung der maximalen Rautiefe  $R_{\text{max}}$  der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer ( $\text{SP}^{\text{(fein)}}$ ) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

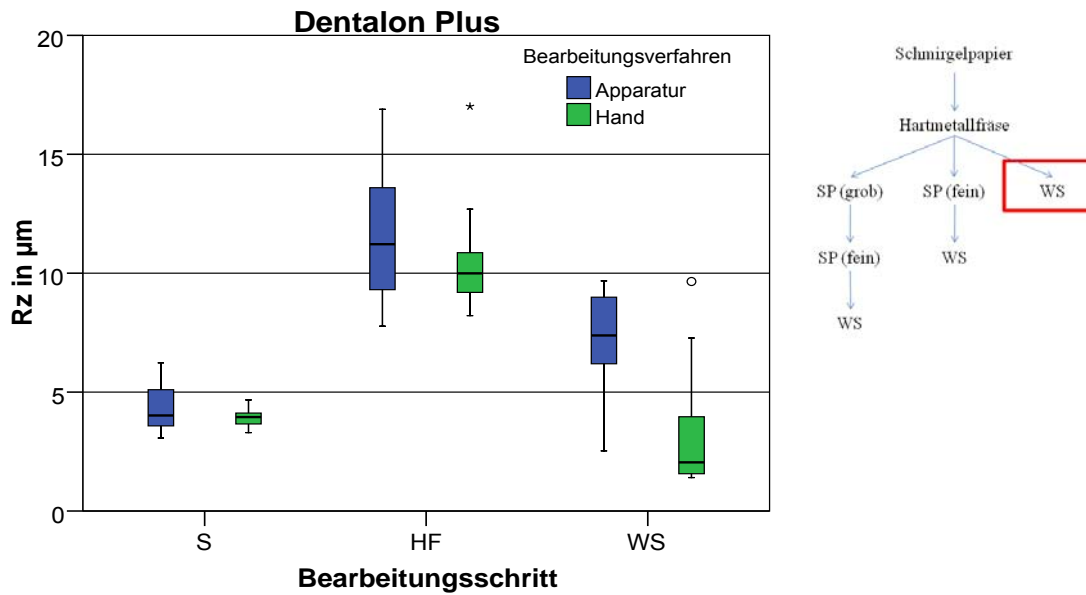
### 6.5.3 Bearbeitungsreihe: Wollschwabbel

Die Ergebnisse der Bearbeitungsreihe „**Wollschwabbel**“ entsprachen grundsätzlich dem Schema der gleichen Bearbeitungsreihen der vorangegangenen temporären K&B-Werkstoffe. Der Unterschied zu den anderen Bearbeitungsreihen war der erhöhte Rauheitswert beim Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“ beim Bearbeitungsverfahren mit der Apparatur. Ein  $R_z$ -Wert von  $7,07 \mu\text{m}$  kann im Vergleich zu den vorangegangenen Bearbeitungsreihen als Ausreißer angesehen werden.

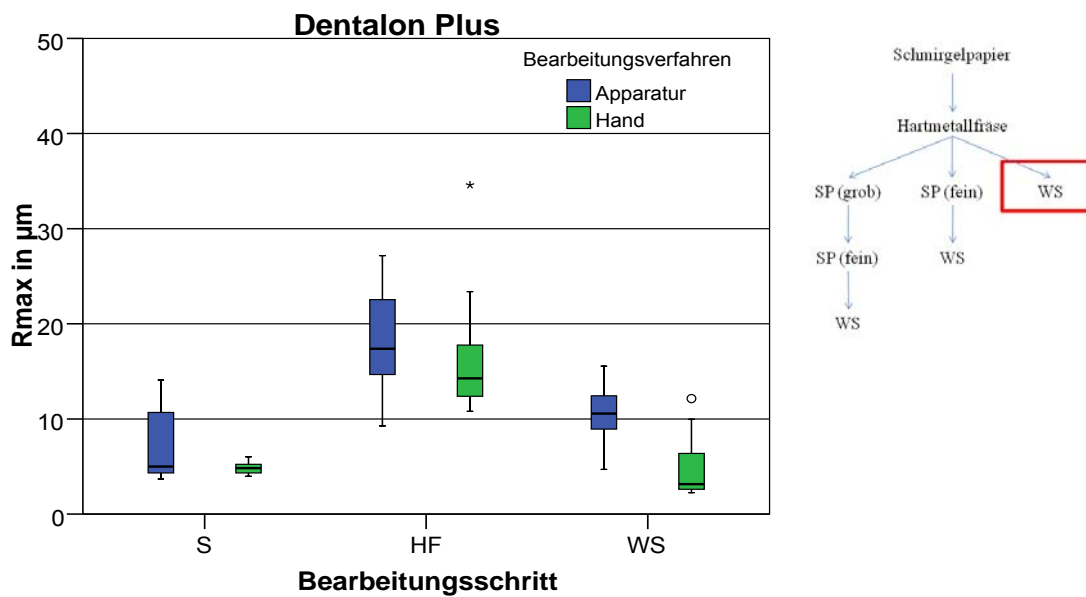




**Abb. 6.20:** Diese Abbildung zeigt die profilometrische Darstellung der Oberfläche eines Probekörpers des Werkstoffes Dentalon Plus aus der Bearbeitungsreihe „Wollschwabbel“ mit dem Bearbeitungsverfahren Hand. Der zuletzt durchgeführte Bearbeitungsschritt ist „Wollschwabbel“ gewesen. Weiße Punkte innerhalb der Abbildung stellen Bereiche dar, die nicht vom Profilometer erkannt werden konnten. Die Rauheitswerte dieses Probekörpers sind wie folgt:  $R_a$  0,97  $\mu\text{m}$ ,  $R_z$  6,19  $\mu\text{m}$ ,  $R_{\text{max}}$  8,93  $\mu\text{m}$



**Abb. 6.21:** Darstellung der gemittelten Rautiefe Rz der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar. Das Pfeildiagramm zeigt die jeweilige Bearbeitungsreihe an.



**Abb. 6.22:** Darstellung der maximalen Rautiefe Rmax der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS). Die kreis- und sternförmigen Markierungen stellen Maximalwerte und Ausreißer der Ergebnisse dar.

## 6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nach der detaillierten Beschreibung der Ergebnisse der einzelnen Bearbeitungsreihen werden die Ergebnisse nun unter dem Augenmerk der verschiedenen Bearbeitungsverfahren bzw. dem Vergleich zwischen den verschiedenen Werkstoffen betrachtet. Der Fokus liegt hierbei auf den Nebenzielkriterien dieser Untersuchung.

### 6.6.1 *Protemp*<sup>TM</sup> 4

*Protemp*<sup>TM</sup> 4 wies in dieser Untersuchung im Durchschnitt aller Werte nach Bearbeitung die höchsten Rauheitswerte auf ( $\emptyset$  *Protemp* Wollschwabbel Rz 3,83  $\mu\text{m}$ ). In Bezug auf die verschiedenen Oberflächenbearbeitungsverfahren bei *Protemp*<sup>TM</sup> 4, wies die Oberflächenbearbeitung mit der Apparatur im Durchschnitt der Werte nach Bearbeitung die niedrigsten Werte auf ( $\emptyset$  Wollschwabbel App Rz 3,74  $\mu\text{m}$ ). Im Vergleich zur Oberflächenbearbeitung mit der Hand ( $\emptyset$  Wollschwabbel Hand Rz 3,92  $\mu\text{m}$ ) ergab sich eine Differenz von 0,18  $\mu\text{m}$ .

Der Ausgangsbearbeitungsschritt einer jeden Oberflächenbearbeitung war der Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“. Der Durchschnittswert aller Bearbeitungsschritte „Schmirgelpapier“ betrug im Gesamten Rz 3,15  $\mu\text{m}$ . Im Vergleich dazu betrug der Durchschnittswert aller Bearbeitungsschritte „Schmirgelpapier“ des Werkstoffes *Protemp*<sup>TM</sup> 4 Rz 3,06  $\mu\text{m}$ . Somit befindet sich *Protemp*<sup>TM</sup> 4 mit dem Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ im Durchschnitt dieser Untersuchung. Innerhalb des Werkstoffes *Protemp*<sup>TM</sup> 4 fiel der Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ bei der Oberflächenbearbeitung mit der Apparatur mit Rz 2,97  $\mu\text{m}$  um 0,84  $\mu\text{m}$  niedriger aus als mit der Hand.

Auf den Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ folgte der Bearbeitungsschritt „Hartmetallfräse“ mit der Oberflächenbearbeitung durch eine Hartmetallfräse. Der Durchschnittswert aller Bearbeitungsschritte „Hartmetallfräse“ betrug im Gesamten Rz 9,47  $\mu\text{m}$ . Im Vergleich dazu fiel der Durchschnittswert aller Bearbeitungsschritte „Hartmetallfräse“ innerhalb des Werkstoffes *Protemp*<sup>TM</sup> 4 mit Rz 10,44  $\mu\text{m}$  um 0,97  $\mu\text{m}$  höher aus. Auch innerhalb des Bearbeitungsschrittes „Hartmetallfräse“ gab es Unterschiede zwischen Hand- und Apparaturbearbeitung. Die Oberflächenbearbeitung mit der Apparatur brachte mit  $\emptyset$  Rz 9,93  $\mu\text{m}$  einen um 1,01  $\mu\text{m}$  niedrigeren Wert als die Oberflächenbearbeitung mit der Hand.

### **6.6.2 Luxatemp Automix Solar**

Luxatemp Automix Solar erreichte im Durchschnitt aller Werte nach Bearbeitung mit Rz 3,02  $\mu\text{m}$  um 0,26  $\mu\text{m}$  niedriger Rauheitswerte als der Durchschnitt aller Werkstoffe. Innerhalb des Werkstoffes gab es bei den Werten nach Bearbeitung eine Differenz von 0,21  $\mu\text{m}$  zwischen der Hand- und Apparaturbearbeitung. Dabei wies die Bearbeitung mit der Apparatur mit Rz 2,91  $\mu\text{m}$  den niedrigeren Wert nach Bearbeitung auf.

### **6.6.3 Dentalon Plus**

Dentalon Plus erreichte im Durchschnitt aller Werte nach Bearbeitung mit Rz 3  $\mu\text{m}$  den geringsten Wert. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass der Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“ der Bearbeitungsgruppe „Wollschwabbel“ des Bearbeitungsverfahrens „Apparatur“ mit Rz 7,07  $\mu\text{m}$  ausreißt. Ansonsten wäre die Differenz von 0,02  $\mu\text{m}$  zu Luxatemp Automix Solar größer. Weiterhin ist anzumerken, dass Dentalon Plus beim mehrstufigen Bearbeitungsverfahren Werte erreichte, die den von *Bollen et al.*<sup>14</sup> geforderten Schwellenwert unterschritten. Dentalon Plus war somit der einzige Werkstoff in dieser Untersuchung, der Ra Werte unter 0,2  $\mu\text{m}$  erreichte. Weiterhin ist auffällig, dass zwar niedrige definitive Werte erreicht wurden, aber die Bearbeitungsschritte „Schmirgelpapier“ und „Hartmetallfräse“ im Durchschnitt jeweils die höchsten Rauheitswerte erreichten. Dentalon Plus wies somit die größte Differenz der Werte zwischen den ersten und letzten Bearbeitungsschritten auf.

## 7 Diskussion

### 7.1 Versuchsaufbau

Durch die Entwicklung einer standardisierten halbautomatischen Oberflächenbearbeitung sollte, wie oben bereits erwähnt, der Bearbeitungsdruck, die Bearbeitungszeit und die Bearbeitungsrichtung dem Untersucher vorgegeben werden. Aus der Literatur ist bekannt, dass ebendiese Faktoren einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Oberflächenbearbeitung haben und unter klinischen Bedingungen starken Schwankungen unterliegen können.<sup>46, 58, 59, 82, 121</sup> In einigen Untersuchungen über die Oberflächenbearbeitung von direkten Restorationswerkstoffen wurde dieser Gedanke der standardisierten Oberflächenbearbeitung bereits umgesetzt. *Watanabe et al.*<sup>113</sup> untersuchten 2005 den Einfluss der Bearbeitungszeit auf die Oberflächenrauheit. Dabei wurde die halbautomatische Oberflächenbearbeitung mit einem konstanten Bearbeitungsdruck von 1 N durchgeführt. Der konstante Bearbeitungsdruck sollte, wie auch in dieser Untersuchung, der Homogenität der Ergebnisse dienen. Die Übertragbarkeit der ermittelten Daten auf die klinische Situation wurde allerdings nicht untersucht.

Die Oberflächenbearbeitung fand in dieser Untersuchung unter trockenen Bedingungen statt, wobei die Oberflächenbearbeitung im Trockenen von einigen Autoren kontrovers diskutiert wird, da diese der Meinung sind, dass sie die Entstehung feiner Risse fördert.<sup>124</sup> Es wird eine Oberflächenbearbeitung unter feuchten Bedingungen empfohlen, da sie die Staub- und Wärmeentwicklung reduziert.<sup>62</sup> *Yap et al.*<sup>122</sup> fanden allerdings in ihren Untersuchungen keinen Unterschied zwischen einer Oberflächenbearbeitung unter trockenen und feuchten Bedingungen.

Weiterhin sollten die verschiedenen Bearbeitungsreihen den klinischen Alltag simulieren, da die meisten temporären Versorgungen nicht mit den aus der Literatur empfohlenen mehrstufigen Verfahren bearbeitet werden.<sup>13, 18</sup> Zudem sollte, durch die schrittweise Entfernung einzelner Bearbeitungsschritte, eine genauere Vergleichbarkeit zwischen den beiden Bearbeitungsverfahren erreicht werden.

In Bezug auf die Herstellung und Bearbeitung der temporären Versorgungen konnte der klinische Rahmen nicht eingehalten werden, da nach jedem einzelnen Bearbeitungsschritt die Oberflächenrauheit bestimmt wurde. Insgesamt wurden alle Probekörper ma-

ximal 6 Std. nach Herstellung bearbeitet. Im Kontrast zum klinischen Ablauf ist die Oberflächenbearbeitung nach ca. 10 min abgeschlossen.

Die Bestimmung der Oberflächenrauheit erfolgte mit einem optischen Profilometer. Die profilometrische Auswertung ist ein allgemein anerkanntes Verfahren zur Bestimmung der Rauheit.<sup>60</sup> Ein Profilometer ist ein optisches Tastsystem, das es ermöglicht eine kontaktlose Rauheitsmessung durchzuführen. Eine Beschädigung beim Abtasten des Prüfkörpers, wie sie beim Tastschnittverfahren möglich ist (z.B. Rillenbildung), kann damit ausgeschlossen werden. Zudem können mit mechanischen Tastsystemen nur Rauheiten gemessen werden, die nicht kleiner als der verwendete Taster sind. Eine Verkleinerung des Tastnadelradius ist durch den Auflagedruck limitiert<sup>44</sup>. Enge Risse oder zu dicht stehende Oberflächenmerkmale können bei mechanischen Tastsystemen Schwierigkeiten verursachen, da Rauheit nicht nur aus regelmäßigen Vertiefungen und Erhöhungen mit verschieden stark geneigten Wänden besteht. Materialüberhänge und rein oberflächlich eröffnete Poren tragen auch zur Erhöhung der Oberflächenrauheit bei. Diese sind ebenfalls mit einem mechanischen Tastsystem, aber auch mit einem Profilometer nur eingeschränkt erfassbar. Ebenso ist die Wiedergabe der Rauheit durch ein Profilometer beschränkt, stellt aber mit einer maximal Auflösung von 10 nm eine zu vernachlässigende Einschränkung dar. Zudem ist es durch die dreidimensionale Betrachtung möglich, genauer auf die Ursachen der unterschiedlichen Rauheitswerte einzugehen. Zum Beispiel konnten Defekte, die durch die Bearbeitung mit einer Hartmetallfräse oder einem Wollschwabbel entstanden sind, aufgezeigt werden.

Die Parameter zur Bestimmung der Rauheit werden durch die DIN EN ISO 4287 Norm<sup>40</sup> vorgegeben. Ebenso gibt die DIN EN ISO 4288 Norm die Position der Messfläche vor, denn Bereiche, die augenscheinlich Defekte aufweisen, dürfen nicht für die Bestimmung der Rauheit herangezogen werden.<sup>39</sup> Deshalb wurde die Rauheit an einem Prüfkörper innerhalb einer Bearbeitungsreihe an verschiedenen Stellen bestimmt. Alle Messungen wurden aber innerhalb der 5 x 5 mm großen Prüfkörperoberfläche durchgeführt.

Es gibt viele Untersuchungen, die sich mit der Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen und direkten Restaurationsmaterialien beschäftigen und der meist verwendete Parameter zur Beschreibung der Rauheit ist Ra.<sup>18, 59, 75, 97, 101, 113</sup> Weiterhin ist auch der für die Oberfläche von dentalen Restaurationen geforderte Schwellenwert in

Ra bestimmt worden.<sup>13</sup> Da aber Ra keinen Rückschluss auf das Oberflächenprofil zulässt (siehe auch [Kapitel 3.4](#)), wurden zusätzlich die Parameter Rz und Rmax bestimmt.

Ebenso ist zu vermerken, dass die Oberfläche der Probekörper plan war. Somit sind Abweichungen zu den in dieser Untersuchung erreichten Rauheitswerten im klinischen Alltag wahrscheinlich.

### **7.1.1 Hauptzielkriterium**

In Anbetracht der Limitationen dieser Untersuchung ist das semiautomatische Oberflächenbearbeitungsverfahren ein für temporäre K&B-Werkstoffe anwendbares Verfahren zur Ermittlung klinisch naher Rauheitswerte unter Laborbedingungen.

Im Allgemeinen ist die Betrachtung der Ergebnisse im Vergleich zu den Daten aus der Literatur schwierig, da die Anwendung einer Oberflächenbearbeitungsapparatur bis jetzt nur bei direkten Restaurationsmaterialien angewandt wurde.<sup>58, 59, 113</sup> Betrachtet man aber die Differenzen der Bearbeitungsverfahren im Vergleich zu dem von *Bollen et al.*<sup>13</sup> geforderten Schwellenwert von Ra 0,2 µm, erscheinen die Differenzen marginal. Denn auf den Durchschnitt aller Rauheitswerte zwischen den Bearbeitungsverfahren ergab sich eine maximale Differenz von Ra 0,09 µm. Im Detail wies Protemp™ 4 eine Differenz von 0,09 µm, Luxatemp Automix Solar eine von 0,08 µm und Dentalon Plus gar keine Differenz auf. Im klinischen Gebrauch ist daher von keinem Unterschied zwischen den Bearbeitungsverfahren auszugehen. Ein weiterer Aspekt zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit klinischen Daten ist, dass der Untersucher im klinischen Alltag erfolgreich Versorgungen mit temporären K&B-Werkstoffen herstellt und einsetzt.

Allerdings soll nicht ausgeschlossen werden, dass durch die umfassenden Vorversuche eine Adaptation des Untersuchers an das Bearbeitungsverfahren stattgefunden hat. Weiterhin ist die Möglichkeit gegeben, dass es durch einen Wechsel des Untersuchers zu Abweichungen der Ergebnisse kommen kann. Inwieweit der Untersucher einen Einfluss auf das vorhandene Oberflächenbearbeitungsverfahren hat und inwieweit die Ergebnisse dem Durchschnitt der klinischen Ergebnisse entsprechen muss, durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

In Bezug auf mögliche Abweichungen der Ergebnisse durch einen Behandlerwechsel stellt sich die Frage, ob eine weitere Standardisierung des Oberflächenbearbeitungsverfahrens sinnvoll bzw. möglich gewesen wäre. Der Einfluss des Untersuchers auf die Bearbeitung mit dem semiautomatischen Oberflächenbearbeitungsverfahren beschränkt

sich auf die Rotation und die Schubbewegungen der Probekörper (siehe [Abb. 5.4](#)). Dabei ist es von der technischen Umsetzung her möglich das Oberflächenbearbeitungsverfahren weiter zu standardisieren. Allerdings wäre die Wahrscheinlichkeit groß, dass durch die weitere Standardisierung dem Oberflächenbearbeitungsverfahren die klinische Relevanz genommen wird.

### **7.1.2 Nebenzielkriterien**

Diese Untersuchung weist vereinzelt höhere Rauheitswerte und Standardabweichungen auf, als es aus den Literaturdaten bekannt ist. Zu erklären ist dieses durch die verschiedenen Bearbeitungsreihen und die Verwendung einer Hartmetallfräse. Betrachtet man allerdings nur das mehrstufige Verfahren „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel“ lässt sich eine Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Literaturdaten erkennen. Denn wie auch *Bollen et al.*<sup>13, 15</sup> in seinen Untersuchungen angibt, lassen sich nur mit mehrstufigen Oberflächenbearbeitungsverfahren Rauheitswerte erzielen, die den Schwellenwert von Ra 0,2 µm erreichen.

Eine ähnliche Untersuchung zur Oberflächenbearbeitung von temporären K&B-Werkstoffen führten *Maalghagh-Fard et al.*<sup>75</sup> durch. Sie untersuchten 8 temporäre K&B-Werkstoffe nach Oberflächenbearbeitung. Dabei wurde die Oberflächenbearbeitung entweder mit einem Silikonpolierer oder mit einer abrasiven Scheibe durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Politur mit Bimsstein. Dabei zeigten die Werkstoffe ähnliche Oberflächenbearbeitungseigenschaften wie in dieser Untersuchung. So wiesen die Composite höhere Rauheitswerte nach der Politur auf als die MMA/PMMA-Werkstoffe. Weiterhin zeigten die Composite nach Aushärtung unter einer Folie niedrigere Rauheitswerte auf, die nach Politur nicht mehr erreicht werden konnten. *Maalghagh-Fard et al.*<sup>75</sup> kommen in ihrer Untersuchung unter anderem zu dem Schluss, dass man die Methodik der Oberflächenbearbeitung nicht verallgemeinern kann. Vielmehr sind die effektivsten Oberflächenbearbeitungsverfahren von Werkstoff zu Werkstoff unterschiedlich. Dieses wird durch die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigt. Gründe für die unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften sind die verschiedenen chemischen und mikrostrukturellen Zusammensetzungen der Werkstoffe. Als Beispiel sind die Composite zu nennen, die durch die Füllstoffe und deren Partikelgröße die Oberflächentopographie des Werkstoffes vorgeben. Daher gelten die in dieser Untersuchung erreichten Rauheitswerte nach Bearbeitung nicht als die maximal zu erreichenden Rau-



heitswerte dieser Werkstoffe. Vielmehr gelten die Ergebnisse als eine Tendenz der Eigenschaften der verschiedenen temporären K&B-Werkstoffe.

Des Weiteren beschreiben *Maalghagh-Fard et al.*<sup>75</sup> initial niedrige Rauheitswerte einiger Composite. Der anschließende Anstieg der Werte in dieser Untersuchung ist vergleichbar mit dem Werkstoff Protemp™ 4, und kann auf die im Vergleich zu den Partikeln weichere Matrix zurückzuführen sein. Somit wird die Matrix schneller entfernt und eine raue Oberfläche bleibt zurück. Dabei gilt: je größer die Partikel, desto höher ist die Rauheit.<sup>113</sup> Ebenso ist vorstellbar, dass die höheren Rauheitswerte durch eine geringere Oberflächenhärte entstanden sind. Denn die Oberflächenhärte eines Werkstoffes ist bei der Oberflächenbearbeitung von entscheidender Bedeutung, da es bei weichen Werkstoffen zur Verformungen und Riefenbildung kommen kann.<sup>77</sup> In [Abb. 6.3](#) sind deutliche Vertiefungen zu erkennen, die für die hohen Rauheitswerte der Bearbeitungsreihe verantwortlich sind. Dabei kann man zwischen punktförmig angeordneten und in Gruppen angeordneten Vertiefungen unterscheiden. Bei den punktförmigen Vertiefungen ist von einem Herauslösen der Füllstoffe auszugehen. Die in Gruppen angeordneten Vertiefungen lassen eher auf eine Kombination aus dem Verlust der Füllstoffe und einem Bearbeitungsdefekt schließen. Da diese Bearbeitungsdefekte in den Bearbeitungsreihen der anderen Werkstoffe nicht vorzufinden sind ([Abb. 6.10](#) und [6.17](#)), bestätigt dies die oben genannte Vermutung einer geringeren Oberflächenhärte.

Diese Erklärung lässt sich aber nicht auf den Werkstoff Luxatemp Automix Solar übertragen, der in dieser Untersuchung niedrige Rauheitswerte erreichte ([Abb.6.10](#)). Mögliche Erklärungsansätze für die niedrigen Rauheitswerte liefern die initial hohen mechanischen Eigenschaften (E-Modul, Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit, Sprödigkeit, *etc.*) des dualhärtenden Werkstoffes.<sup>81</sup> Die hohen mechanischen Eigenschaften führen dazu, dass ein gleichmäßiger Abtrag von Matrix und Füllstoffen entsteht. Ebenso besteht die Möglichkeit der Beeinflussung der Rauheit durch die Partikelgröße. Durch geringere Füllstoffdurchmesser wird der Raum zwischen den Partikeln reduziert und die weiche Kunststoffmatrix vor dem Entfernen der Politur geschützt.<sup>84</sup>

In [Abb. 6.10](#) ist die Oberfläche nach abgeschlossener Oberflächenbearbeitung des Werkstoffes Luxatemp Automix Solar aus der Bearbeitungsreihe „Silikonpolierer<sup>(grob)</sup> + Silikonpolierer<sup>(fein)</sup> + Wollschwabbel“ abgebildet. Auch diese Oberfläche weist eine unebene Oberfläche auf. Im Vergleich zu [Abb. 6.3](#) lassen sich aber keine Vertiefungen erkennen, die durch das Herauslösen von Füllstoffen aus der Matrix entstehen. Viel-

mehr sind Riefen und Rillen zu erkennen, die durch die Oberflächenbearbeitung entstanden sind. Da die Rauheitswerte dieses Probekörpers unterhalb des geforderten Schwellenwertes liegen, scheint der Einfluss der Riefen und Rillen gering zu sein.<sup>15</sup>

Als weiterer Werkstoff dieser Untersuchung wurde Dentalon Plus untersucht. Dentalon Plus ist ein MMA/PMMA-Werkstoff, der gegenüber den Compositen keine Füllstoffe enthält. Diese Tatsache verschafft den MMA/PMMA-Werkstoffen gegenüber den Compositen einen Vorteil bei der Oberflächenbearbeitung.<sup>52, 75, 97</sup> Insofern stimmen die Ergebnisse der Untersuchung mit den Literaturdaten überein, da die niedrigsten Rauheitswerte durch Dentalon Plus erreicht wurden.

In [Abb. 6.17](#) ist die Oberfläche eines Probekörpers aus Dentalon Plus dargestellt. Bei genauerer Betrachtung sind kreisrunde Erhebungen zu erkennen, die durch die vorgefertigten Perlpolymerisate entstanden sind. Ansonsten weist der Probekörper wenige Defekte auf, was sich auch in seiner geringen Oberflächenrauheit zeigt.

*Borchers et al.*<sup>18</sup> gibt in seiner Untersuchung an, dass nicht alleine das Vorhandensein von Füllstoffen den Bearbeitungsunterschied zwischen den Werkstoffen ausmacht. So gibt er andere Faktoren an, die seiner Meinung nach einen höheren Einfluss auf die verschiedenen Oberflächenbearbeitungseigenschaften haben. So sollen die Anordnung der Matrix sowie die chemische Zusammensetzung und die Verteilung der Partikelgrößen verantwortlich für die verschiedenen Oberflächenbearbeitungseigenschaften sein. Hierzu sei noch angemerkt, dass Rückschlüsse von den Oberflächeneigenschaften auf die chemischen Zusammensetzung schwierig sind, da die Hersteller die chemische Zusammensetzung nicht bekannt geben.<sup>18</sup> Ebenso fehlen Angaben über die verwandten Partikelgrößen.

Zu den fehlenden Angaben bzgl. der Zusammensetzung der Werkstoffe ist auch nicht bekannt, inwieweit beim Anmischen die Zusammensetzung differiert. Einige Autoren führen Abweichungen der Ergebnisse auf Schwankungen des Anmischverhältnisses zurück. So können auch einige Ergebnisse dieser Untersuchungen erklärt werden. Als Beispiel ist die Bearbeitungsreihe „Wollschwabbel“ des Werkstoffes Protemp™ 4 zu nennen. Innerhalb dieser Bearbeitungsreihe weist der Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ eine Differenz von 0,61 µm zwischen den beiden Bearbeitungsverfahren auf, obwohl dieser Bearbeitungsschritt bei beiden Verfahren gleich ist und sich die beiden vorherigen Bearbeitungsschritte mit einer Differenz von maximal 0,11 µm unterscheiden. Somit ist entweder von einer anderen Zusammensetzung des Werkstoffes auszuge-

hen oder es liegt eine nicht regelgerechte Oberflächenbearbeitung (Bearbeitungsfehler) vor, die zu einer Erhöhung der Rauheit führte. Da aber Bearbeitungsfehler meist größere Auswirkungen auf die Rauheitswerte haben, ist die Wahrscheinlichkeit einer veränderten Zusammensetzung höher.

Ein Beispiel für einen möglichen Bearbeitungsfehler ist die Bearbeitungsreihe „Wollschwabbel“ des Werkstoffes Dentalon Plus. Dort kam es beim Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“ zu einer Differenz der Rauheitswerte von  $3,71 \mu\text{m}$ . Im Vergleich zum Bearbeitungsverfahren mit der Hand, war das ein Anstieg des Wertes um über 100 %. Weiterhin sollte in Betracht gezogen werden, dass die Bearbeitungsreihe „Wollschwabbel“ und vor allen Dingen der Bearbeitungsschritt „Wollschwabbel“ die höchsten Standardabweichungen innerhalb dieser Untersuchung aufwiesen. Somit kann der überproportionale Anstieg ein Resultat mehrerer Ursachen sein. In [Abb. 6.20](#) ist die Oberfläche eines Probekörpers aus der oben genannten Bearbeitungsreihe dargestellt. Es sind deutliche Veränderungen im Oberflächenprofil zu erkennen, die aufgrund ihres schematischen Verlaufes auf eine bearbeitungsbedingte Veränderung schließen lassen. Aufgrund der Tiefe und des groben Profils der Veränderung ist es wahrscheinlich, dass die Veränderungen durch den Bearbeitungsschritt „Hartmetallfräse“ verursacht worden sind.

Bei Betrachtung der Ergebnisse im Gesamten zeigt sich, dass bei allen 3 Werkstoffen die Bearbeitungsreihen immer ein ähnliches Schema aufwiesen. Das Schema zeigte sich wie folgt: Der Bearbeitungsschritt „Schmirgelpapier“ wies niedrige Rauheitswerte ( $R_z < 4 \mu\text{m}$ ) auf, wohingegen die Rauheitswerte in dem darauffolgenden Bearbeitungsschritt „Hartmetallfräse“ stark anstiegen ( $R_z > 10 \mu\text{m}$ ), um dann durch die weitere Bearbeitung wieder auf Werte ähnlich denen der Ausgangssituation abzusinken. In Bezug auf die verschiedenen Bearbeitungsreihen zeigte sich, dass durch das Entfernen einzelner Bearbeitungsschritte die schrittweise Erniedrigung der Rauheit unterbrochen wurde. Somit konnten keine Rauheitswerte erreicht werden, die die Werte des Bearbeitungsschrittes „Schmirgelpapier“ unterschritten.

Daraus ließen sich folgende Schlüsse ziehen: Je größer die Anzahl der aufeinanderfolgenden Bearbeitungsschritte war, desto geringer waren die definitiven Rauheitswerte. Ebenso verhält es sich mit der Homogenität der Werte: Je größer die Anzahl der Bearbeitungsschritte war, desto geringer war die Streuung der definitiven Werte.

Wichtig zu erwähnen ist, dass diese Untersuchung lediglich eine Standortbestimmung der Rauheitswerte innerhalb von 10 min. bis 6 Std. darstellt. Aus der Literatur ist be-

kannt, dass durch die mechanische Belastung oder auch die Wasseraufnahme die mechanischen Eigenschaften sinken bzw. die Oberfläche rauer wird.<sup>52</sup> Besonders bei dualhärtenden K&B-Werkstoffen ist bekannt, dass sie einen Verlust der mechanischen Eigenschaften über die Zeit zeigen.<sup>4, 36</sup>

## 7.2 Schlussfolgerung

Das semiautomatische Oberflächenbearbeitungsverfahren ist ein anwendbares Verfahren, um unter standardisierten Laborbedingungen Rauheitswerte zu erreichen, die mit der klinischen Anwendung von temporären K&B-Werkstoffen vergleichbar sind. Die Null-Hypothese konnte somit nicht verworfen werden. Bezüglich der Nebenzielkriterien ist festzustellen, dass die Oberflächenrauheit maßgeblich durch die chemische Provenienz des verwendeten Werkstoffes und durch das Polierverfahren determiniert wurde.

Damit scheint die Übertragung von unter standardisierten Laborbedingungen ermittelten Rauheitswerten temporärer K&B-Werkstoffe in den klinischen Alltag zulässig. Unter dieser Annahme können folgende Empfehlungen gegeben werden: Mono-Methacrylate und dualhärtende Di-Methacrylate sollten den selbsthärtenden Di-Methacrylaten aufgrund ihrer besseren Oberflächenbearbeitungseigenschaften, vorgezogen werden. Weiterhin sollte durch den Zahnarzt eine mehrstufige Oberflächenbearbeitung durchgeführt werden, um möglichst niedrige Rauheitswerte zu erlangen. Insbesondere wenn eine längere Tragedauer der temporären Versorgung zu erwarten ist.

## 8 Zusammenfassung

Die Anwendung einer temporärer Versorgung ist heutzutage aus der zahnmedizinischen Therapie nicht mehr wegzudenken.<sup>4</sup> Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Oberflächenrauheit der temporären Versorgung, da diese die Adhäsion von Bakterien stark beeinflusst.<sup>15</sup> Somit gilt, dass die Oberflächenrauheit einer temporären Versorgung möglichst gering sein sollte, da glatte Oberflächen nur geringen Halt für Speisereste, Epithelzellen und Bakterien bieten. Um eine möglichst geringe Oberflächenrauheit zu schaffen, muss die temporäre Versorgung bearbeitet werden. Das Ziel einer Oberflächenbearbeitung dentaler Restaurationen sind Ra-Werte von unter  $0,2\ \mu\text{m}$ ,<sup>18</sup> denn bei Rauheitswerten von unter  $0,2\ \mu\text{m}$  ist keine weitere Reduktion der mikrobiologischen Kolonisation zu erwarten.<sup>88</sup>

In den meisten bisher durchgeführte Untersuchungen zur Oberflächenrauheit von temporären K&B-Werkstoffen wurde die Bearbeitung von einem Behandler durchgeführt. Da aber der Bearbeitungsdruck von Behandler zu Behandler unterschiedlich ist, war der Vergleich der Ergebnisse schwer möglich.<sup>59</sup> Aufgrund dieser Problematik wurde in einigen Untersuchungen die Oberflächenbearbeitung durch eine Oberflächenapparatur durchgeführt.<sup>59, 113</sup> Allerdings ist aus der Literatur keine Untersuchung bekannt, die die Vergleichbarkeit der standardisierten Oberflächenbearbeitung temporärer K&B-Werkstoffe mit den klinisch erhobenen Daten betrachtet. Somit war es Ziel dieser Untersuchung die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Hand- und Apparaturbearbeitung bei temporären K&B-Werkstoffen zu bewerten. Zu diesem Zweck wurde für diese Untersuchung ein standardisiertes semiautomatisches Oberflächenbearbeitungsverfahren für temporäre K&B-Werkstoffe entwickelt. Um generelle Unterschiede bei den temporären K&B-Werkstoffe zu erkennen, entsprachen die 3 zu untersuchenden Werkstoffe den jeweils meist vertretenen Werkstoffklassen auf dem Markt. Es gab insgesamt 3 verschiedene Bearbeitungsreihen mit bis zu 5 Bearbeitungsschritten. Nach jedem Bearbeitungsschritt wurde die Rauheit der Probekörper mit einem optischen Profilometer bestimmt. Es zeigte sich, dass zwischen den beiden Bearbeitungsverfahren kein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ) zu erkennen war. Somit scheint die semiautomatische Oberflächenbearbeitung ein anwendbares Verfahren zur Ermittlung von klinisch nahen Rauheitswerten temporärer K&B-Werkstoffe unter standardisierten Laborbedingungen zu sein.

## 9 Summary

Surfaces of dental restorations have to be smooth to prevent bacterial adhesion. This applies also to temporary crown and bridge materials (TCBM). However, little information is currently available about surface finishing of TCBM. Besides, comparisons between available studies are complicated, due to non standardized treatment procedures. It was therefore the purpose of this study to develop a semi automated set up to control speed, direction, machining time and grinding pressure of the finishing procedure and to compare it to manual finishing.

Three different TCBM (*Protemp<sup>TM</sup> 4/3 M Espe, USA, Luxatemp Automix Solar/DMG, Germany* and *Dentalon Plus/Heraeus Kulzer, Germany*) were used to produce an overall of sixty planar specimens (10 mm diameter and 5 mm thickness). Thirty specimens were treated manually and thirty mechanically with three different consecutive finishing procedures (tungsten carbide cutter, acrylic polisher and polishing brush). After every single treatment step surface roughness (Rz) were assessed with a profilometer (*Micro-Prof<sup>®</sup>/Fries Research Technology, Germany*). Changes in surface roughness were calculated and subjected to a multivariate analysis of variance ( $p \leq 0.05$ ).

The analysis showed that there was no significant difference between manual and semi automated surface finishing (Mean  $\pm$  SD)(manual:Rz  $5.12 \pm 1.03 \mu\text{m}$  / auto:Rz  $4.99 \pm 1.10 \mu\text{m}$ ). *Dentalon Plus* exhibit the lowest surface roughness after multistep surface treatment (manual:Rz  $1.01 \pm 0.19 \mu\text{m}$  / auto:Rz  $1.09 \pm 0.34 \mu\text{m}$ ). The highest surface roughness values in multi step treatment were determined for *Protemp<sup>TM</sup> 4* (manual:Rz  $2.91 \pm 0.6 \mu\text{m}$  / auto:Rz  $2.66 \pm 0.61 \mu\text{m}$ ).

Within the limitations of the study it can be concluded that the developed semi automated finishing procedure is a viable means to standardize the surface preparation in TCBM for study purposes. Even more, the developed semi automated technique delivered results that were comparable to manual finishing in patients.

## 10 Literaturverzeichnis

1. An YH, Friedmann RJ. Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterial surfaces. *J Biomed Mater Res*; 43: 338-348, 1998.
2. Anders A, Welker D. Investigation of plastic materials for temporary crown and bridges. *Dtsch Zahnärztl Z*; 45: 149-153, 1990.
3. Attar N. The effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of composite resin materials. *J Contemp Dent Pract*; 8: 27-35, 2007.
4. Balkenhol M. Temporäre Kronen- und Brückenwerkstoffe in der Zahnheilkunde: Eine Standortbestimmung [Habilitation]. Giessen: *Justus-Liebig-Universität* 2007.
5. Balkenhol M, Ferger P, Mautner M, Wöstmann B. Provisional crown and fixed partial denture materials: Mechanical properties and degree of conversion. *Dent Mater*; 23: 1574-1583, 2007.
6. Balkenhol M, Meyer M, Michel K, Ferger P, Wöstmann B. Effect of surface condition and storage time on the reparability of temporary crown and fixed partial denture materials. *J Dent*; 36: 861-872, 2008.
7. Basting G. Surface condition of various provisional crown and bridge materials before and after polishing. Scanning electron microscopy study. *ZWR*; 94: 402-407, 1985.
8. Beatty MW, Swartz ML, Moore BK, Phillips RW, Roberts TA. Effect of micro-filler fraction and silane treatment on resin composite properties. *J Biomed Mater Res*; 40: 12-23, 1998.
9. Behrend DA. Temporary protective restorations in crown and bridge work. *Aust Dent J*; 12: 411-416, 1967.
10. Berger JC. Surface roughness of denture base acrylic resins after processing and after polishing. *J Prosthodont* 15: 180-186, 2006.
11. Björn H, Carlsson J. Observations on a dental plaque morphogenesis. *Odontologisk Revy*; 15: 23-28, 1964.
12. Boeckler AF, Senke A. Die erfolgreiche Herstellung direkt gefertigter provisorischer Restaurationen. *ZWR*; 116: 569-573, 2006.
13. Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature *Dent Mater*; 13: 258-269, 1997.
14. Bollen CM, 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: 258-269, 1997.
15. Bollen CM, Papaioanno W, Van Eldere J, Schepers E, Quirynen M, van Steenberghe D. The influence of abutment surface roughness on plaque accumulation and peri-implant mucositis. *Clin Oral Implants Res*; 7: 201-211, 1996.
16. Borchers L, Jung T. Schlagbiegefähigkeit und Biegefestigkeit von Materialien für provisorische Kronen und Brücken. *Dtsch Zahnärztl Z*; 41: 1073-1076, 1986.

17. Borchers L, Jung T. Werkstoffkundliche Untersuchungen an Materialien für provisorische Kronen und Brücken. *Dtsch Zahnärztl Z*; 39: 757-760, 1984.
18. Borchers L, Tavassol F, Tschernitschek H. Surface quality achieved by polishing and by varnishing of temporary crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent*; 82: 550-556, 1999.
19. Bowen R. X-ray-opaque reinforced fillers for composite materials. *J Dent Res*; 48: 79-82, 1969.
20. Bral M. Peridontal considerations for provisional restorations. *Dent Clin North Am*; 33: 457-477, 1989.
21. Brecker C. Wiederherstellung des Kauorgans und der Okklusion. Lehrbuch und Atlas für die zahnärztliche Praxis. 2. Auflage. Stuttgart: *Medica* 1968.
22. Brex M, Rönström A, Theilade J, Attström R. Early formation of dental plaque on plastic films. A quantitative and descriptive light and electron microscopic study. *J Clin Periodont*; 7: 361-373, 1980.
23. Brex M, Theilade J, Attström R. An ultrastructural quantitative study of the significance of microbial multiplication during early dental plaque growth. *J Periodontal Res*; 18: 177-186, 1983.
24. Burke FJ, Murray MC, Shortall AC. Trends in indirect dentistry: 6. Provisional restorations, more than just a temporary. *Dent Update*; 32: 443-444, 447-448, 450-452, 2005.
25. Burns DR, Beck DA, Nelson SK. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent*; 90: 474-497, 2003.
26. Busscher HJ, Sjollem J, Van der Mei HC. Relative importance of surface free energy as a measure of hydrophobicity in bacterial adhesion to solid surfaces. In: Microbial cell surface hydrophobicity. Washington DC: *American Society for Microbiology* 1990.
27. Capp NJ. The diagnostic use of provisional restorations. *Restorative Dent*; 1: 92, 94-98, 1985.
28. Carlsson J, Egelberg J. Effect of diet on early plaque formation in man. *Odontologisk Revy*; 16: 112-125, 1965.
29. Chan KC, Fuller JL, Hormati AA. The ability of foods to stain two composite resins. *J Prosthet Dent*; 43: 542-545, 1980.
30. Christensen GJ. Provisional restorations for fixed prosthodontics. *J Am Dent Assoc*; 127: 249-252, 1996.
31. Clarke RL. Glassy Polymers. In: Braden M, Clarke RL, Nicholson J, Parker S (Hrsg.) *Polymeric Dental Materials*. . 1. Auflage. Berlin: *Springer* 1997.
32. Condon JR, Ferracane JL. Factors effecting dental composite wear in vitro. *J Biomed Mater Res*; 38: 303-313, 1997.
33. Condon JR, Ferracane JL. In vitro wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. *J Dent Res*; 76: 1405-1411, 1997.
34. Craig RG, Powers JM. *Restorative Dental Materials* 11th. St Louis: *Mosby* 2002.



35. Degner W, Böttger HC. Handbuch Feinarbeitung. München Wien: *Hanser* 1979.
36. Diaz-Arnold AM, Dunne J, Jones A. Microhardness of provisional fixed Prosthodontic materials. *J Prosthet Dent*; 82: 525-528, 1999.
37. Dietrich H, Dietrich J. Die provisorische Versorgung. 2. Auflage. *Fuchstal: teamwork media* 2002.
38. Duke ES. Provisional restorative materials: a technology update. *Compend Contin Educ Dent*; 20: 497-500, 1999.
39. e.V. DDIfN. DIN EN ISO 4288: Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit - Geometrische Produktspezifikation und - prüfung - im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 1998.
40. e.V. DIfN. DIN EN ISO 4287 - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren. Aus: Normenausschuß Technische Grundlagen (NATG) - Geometrische Produktspezifikation und - prüfung - im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 1998.
41. Eichner K. Historischer Überblick über zahnärztliche Werkstoffe. In: Eichner K (Hrsg.). Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1. Grundlagen und Verarbeitung. 1-4. Heidelberg: *Hüthig* 1981.
42. Federick DR. The provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent*; 34: 520-526, 1975.
43. Ferracane JL. Temporary Restoratives in: Materials in Dentistry : Principles and Applications. 2. Auflage. Philadelphia: *J. B. Lippincott Company* 1995.
44. Franke C. Vergleichende Untersuchungen zur Oberflächenrauigkeit von Amalgamfüllung im Approximalbereich [Dissertation]. Giessen: *Justus-Liebig-Universität* 1991.
45. Franz G. Zahnärztliche Werkstoffkunde. In: Schwenzer N.(Hrsg.). Zahn-Mund-Kieferheilkunde. Band 3. Prothetik und Werkstoffkunde. 1. Auflage. Stuttgart: *Thieme* 1982.
46. Fruits T, Miranda F, Coury T. Effects of equivalent abrasive grits sizes utilizing differing polishing motions on selected restorative materials. *Quintessence Int*; 27: 279-285, 1996.
47. Gausmann M. Untersuchung zur Bruchfestigkeit und Reparaturfähigkeit von temporären Kronen- und Brückenmaterialien [Dissertation]. Giessen: *Justus-Liebig-Universität* 2002.
48. Gausmann T. Untersuchungen zur Reparaturfähigkeit mit Bondingsystemen bei temporären Kronen- und Brückenmaterialien [Dissertation]. Giessen: *Justus-Liebig-Universität* 2002.
49. Gedik R, Hürmüzlü F, Bektas ÖÖ, Özdemir AK. Surface roughness of new microhybrid resin-based composites. *J Am Dent Assoc*; 136: 1106-1112, 2005.
50. Gegauff AG, Holloway JA. Interim Fixed Restorations. In: Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J (Hrsg.). Contemporary Fixed Prosthodontics. 4. Auflage. St. Louis: *Mosby Elsevier* 2006.
51. Guler AU, Kurt S, Kulunk T. Effects of various finishing procedures on the staining of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*; 93: 453-458, 2005.

52. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Dawson DV. Effect of storage solution on surface roughness of provisional crown and fixed partial denture materials. *J Prosthodont*; 13: 227-232, 2004.
53. Helfgen EH, Helfgen I, Koeck B, Schoenen D, Wiedermann B. The intraoral bacterial colonization of temporary denture plastics. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*; 105: 629-632, 1995.
54. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. 2. München, Jena: *Urban&Fischer* 1999.
55. Hofmann J. Experimentelle Untersuchung der Auswirkung von Dry Coat auf die Rauigkeit und die Plaqueadhärenz an Kronen- und Brückenprovisorien aus Luxatemp [Dissertation]. Giessen: *Justus-Liebig-Universität* 2002.
56. Jacobshagen H. Untersuchungen über die Ursache von Verfärbungsmöglichkeiten der Zahnprothese aus Polymethakrylsäuremethylester [Dissertation]. Kiel: *Christi-an-Albrechts-Universität* 1958.
57. Janda R. Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe. In: Kappert HF, Eichner K (Hrsg.).  
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Grundlagen und Verarbeitung. Heidelberg: *Hüthig* 1996.
58. Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. Interoperater variability during polishing of restorative materials. *J Dent Res*; 83: 229, 2004.
59. Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. Laboratory study of the loads, speeds and times to finish and polish direct restorative materials *J Oral Rehabil*; 32: 686-692, 2005.
60. Jung M, Baumstieger M, Klimek J. Effectiveness of diamond-impregnated felt wheels for for polishing a hybrid composite. *Clin Oral Invest*; 1: 71-76, 1997.
61. Jung M, Sehr K, Klimek J. Surface texture of four nanofilled and one hybrid composite after finishing. *Oper Dent*; 32: 45-52, 2004.
62. Jung T, Borchers L. Schleif- und Poliermittel. In: Kappert HF, Eichner K (Hrsg.).  
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Grundlagen und Verarbeitung. Heidelberg: *Hüthig* 1996.
63. Käyser AF, Creugers NH, Plasmans PJ, Postema N, Snoek PA. Die provisorische Versorgung. In: Käyser AF, Creugers NH, Plasmans PJ, Postema N, Snoek PA (Hrsg.). Kronen- und Brückenprothetik. Behandlungsplanung, Indikation, Ausführung, Langzeitbewahrung. Köln: *Deutscher Ärzte Verlag* 1996.
64. Kleber BM. Parodontologie. Kompendium für Studierende und Zahnärzte. 1. Köln: *Deutscher Ärzte Verlag* 1998.
65. Koeck B. (Hrsg.). Praxis der Zahnheilkunde. Band 5. Kronen- und Brückenprothetik. 4. Auflage. München: *Urban und Fischer* 1999.
66. Körber E. Oberflächenbearbeitung zahnärztlicher Kunststoffe. *Dtsch Zahnärztl Z*; 15: 562-572, 1960.
67. Krug RS. Temporary resin crown and bridges *Dent Clin North Am*; 19: 313-320, 1975.

68. Lang R, Rosentritt M, Handel G. Die provisorische Versorgung: Aufgaben, Materialkunde und Herstellung. *Quintessenz*; 53: 27-36, 2002.
69. Larato DC. The effect of crown margin extension on gingival inflammation. *J South Calif Dent Assoc*; 37: 476-478, 1969.
70. Larato DC. Influence of a composite restoration on the gingiva. *J Prosthet Dent*; 28: 402-404, 1972.
71. Lie T. Ultrastructural study of early dental plaque formation. *J Periodontal Res*; 13: 391-409, 1978.
72. Løe H, Holm-Pedersen P. Absence and presence of fluid from normal and inflamed gingivae. *Periodontics*; 149: 171-177, 1965.
73. Lui JL, Sectos JC, Philipps RW. Temporary restorations: a review. *Oper Dent*; 11: 103-120, 1986.
74. Luthardt RG, Stossel M, Hinz M, Vollandt R. Clinical performance and periodontal outcome of temporary crowns and fixed partial dentures: a randomized clinical trial. *J Prosthet Dent*; 83: 32-39, 2000.
75. Maalhagh-Fard A, Wagner WC, Pink FE, Neme AM. Evaluation of surface finish and polish of eight provisional restorative materials using acrylic bur and abrasive disk with and without pumice. *Oper Dent*; 28: 734-739, 2003.
76. Mahlendorff M. Provisorische Versorgung in der Kronen- und Brückenprothetik. In: Freesmeyer WB (Hrsg.). *Klinische Prothetik. Band 1. Festsitzender und implantatgetragener Zahnersatz. 1. Auflage. Heidelberg: Hüthig 1995.*
77. Marxkors P, Meiners H. Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. 5. Köln: *Deutscher Zahnärzte Verlag* 2005.
78. Metzger J. Bewertung der Oberflächenrauigkeit vier verschiedener Komposite nach der Anwendung sechs klinisch relevanter Bearbeitungsmethoden [Dissertation]. Frankfurt am Main: *Johann-Wolfgang-Goethe* 1998.
79. Meyer A, Müller P. Direkte provisorische Versorgung: Ein kurzer Überblick. *Quintessenz*; 57: 371-378, 2006.
80. Meyer K. Über Verfärbungen an der Oberfläche von Prothesenkunststoffen infolge von fehlerhafter Bearbeitung mit besonderer Berücksichtigung der sogenannten Spannungsrisse. *Dtsch Zahnärztl Z*; 15: 572, 1960.
81. Meyer T. The microstructure and materials properties of provisional crown and fixed partial denture materials. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*; 105: 1134-1141, 1995.
82. Miyazaki M, Yamada M, Ando S, Onose H, Kawamura H, Asano N, et al. A study on one-step polishing system - influence of polishing duration and hand piece load on surface texture of light-cured-resins-. *Nihon Shika Hozongaku Zaashi* 43: 1040-1049, 2000.
83. Nyvad B, Fejerskov O. Scanning electron microscopy of early microbial colonisation of human enamel and root surface in vivo. *Scand J Dent Res*; 95: 287-296, 1987.
84. Pallav P, Giannini M, Lovadino JR, dos Santos Dias CT. The influence of admixing microfiller to small-particle composite resin on wear, tensile strength, hardness, and surface roughness. *J Dent Res*; 68: 489-490, 1989.

85. Pearson GJ, Messing JJ. The abrasivity of finishing agents used on composite filling material. *J Dent*; 7: 105-110, 1979.
86. Quirynen M. The clinical meaning of the surface roughness and the surface free energy of intraoral hard substrata on the microbiology of the supra- and subgingival plaque: results of an in vitro and in vivo experiments. *J Dent*; 22: 13-16, 1994.
87. Quirynen M, Bollen CM. The influence of surface roughness and surface free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature. *J Clin Periodont*; 22: 1-14, 1995.
88. Quirynen M, Bollen CM, Papaioannou W, Van Eldere J, van Steenberghe D. The influence of titanium abutment surface roughness on plaque accumulation and gingivitis: short-term observations. *Int J Oral Maxillofac Implants*; 11: 169-178, 1996.
89. Quirynen M, van der Mei HC, Bollen CM, Schotte A, Marechal M, Doornbusch GI, et al. An in vivo study of the influence of the surface roughness of implants on the microbiology of supra- and subgingival plaque. *J Dent Res*; 72: 1304-1309, 1993.
90. Rawls HR. Dental Polymers, In: Anusavice KJ (Hrsg.). Phillips' Science of Dental Materials. 11 Auflage. 11. St. Louis: Saunders 2003.
91. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary Fixed Prosthodontics. St. Louis Mosby 2001.
92. Ryzanny A, Welker D, Göbel R. Werkstoffkundlicher Vergleich temporärer K&B-Kunststoffe. *Phillip Journal*; 13: 357-366, 1996.
93. Sarac D, Sarac YS, Kulunk S, Ural C, Kulunk T. The effect of polishing techniques on the surface roughness and color change of composite resins. *J Prosthet Dent*; 96: 33-40, 2006.
94. Sardin S, Morrier JJ, Benay G, Barsotti O. In vitro streptococcal adherence on prosthetic and implant materials. Interactins with physiochemical surface properties. *J Oral Rehabil*; 31: 140-148, 2004.
95. Saxton CA. Scanning electron microscope study of the formation of dental plaque. *Caries Res*; 7: 102-119, 1973.
96. Scotti R, Macellani SC, Forniti F. The in vitro color stability of acrylic resins for provisional restorations. *Int J Prosthodont*; 10: 164-168, 1997.
97. Sen D, Göller G, Issever H. The effect of two polishing pastes on the surface roughness of bis-acryl composite and methacrylate-based resin. *J Prosthet Dent*; 88: 527-532, 2002.
98. Shillingburg HT, Sumiya H, Lowell DW, Jacobi R, Brackett SE. Fundamentals of fixed prosthodontics. 3. Auflage. 3. Chicago: Quintessence 1997.
99. Shintani H, Satou J, Satou N, Hayashihara H, Ihnoue T. Effects of various finishing methods on staining and accumulation of streptococcus mutans HS-6 on composite resins. *Dent Mater*; 1: 225-227, 1985.
100. Sorg H. Praxis der Rauheitsmessung und Oberflächenbeurteilung. 1. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1995.
101. St-Georges AJ, Bolla M, Fortin D, Muller-Bolla M, Thompson JY, Stamatiades PJ. Surface finish produced on three resin composites by new polishing systems. *Oper Dent*; 30: 593-597, 2005.

102. Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M. Curriculum Prothetik. Band II. Artikulatoren, Ästhetik, Werkstoffkunde, Festsitzende Prothetik. 3. Auflage. Berlin: *Quintessenz* 2005.
103. Theilade E, Theilade J. Bacteriological and ultrastructural studies of developing dental plaque. In: Dental Plaque, McHugh, W. D. Edinburgh: *E.S. Livingstone* 1970.
104. Theilade E, Wright WH, Jensen SB, Løe H. Experimental gingivitis in man. II. A longitudinal clinical and bacteriological investigation. *J Periodontal Res*; 1: 1-13, 1966.
105. Theilade J. Development of bacterial plaque in the oral cavity. *J Clin Periodontol*; 4: 1-12, 1977.
106. Vahidi F. The provisional restoration. *Dent Clin North Am*; 31: 363-381, 1987.
107. Van Loosdrecht MCM, Lyklema J, Norde W, Zehnder AJB. Influence of interfaces on microbial activity. *Microbiol Rev*; 54: 75-87, 1990.
108. Venturini D, Cenci MS, Demarco FF, Camacho GB, Powers JM. Effect of polishing techniques and time on surface roughness, hardness and microleakage of resin composite restorations. *Oper Dent*; 31: 11-17, 2006.
109. Volk R. Rauheitsmessung: Theorie und Praxis. 1. Auflage. Berlin-Wien-Zürich: *Beuth Verlag GmbH* 2005.
110. Waerhaug J. Temporary restoration: advantages and disadvantages. *Dent Clin North Am*; 24: 305-316, 1980.
111. Wang RL, Moore BK, Goodacre CJ, Swartz ML, Andres CJ. A comparison of resins for fabricating provisional fixed restorations. *Int J Prosthodont*; 2: 173-184, 1989.
112. Wassell RW, St George G, Ingledew RP, Steele JG. Crowns and other extra-coronal restorations: provisional restorations. *Br Dent J*; 192: 619-622, 625-630, 2002.
113. Watanabe T, Miyazaki M, Takamizawa T, Kurokawa H, Rikuta A, Ando S. Influence of polishing duration on surface roughness of resin composites. *J Oral Sci*; 47: 21-25, 2005.
114. Welker D. Weiterentwicklungen bei Kunststoffen für Interimsersatz. *ZMK*; 17: 298-301, 2001.
115. Welker D, Meiners H, Lehmann KM. Kunststoffe für temporäre Versorgung In: Meiners H, Lehmann KM (Hrsg.). *Klinische Materialkunde für Zahnärzte*. München: *Carl Hanser Verlag* 1998.
116. Welker D, Rzanny A, Göbel R. Interimsversorgung bei Kronen- und Brückenersatz - Indikation, Werkstoffe, biologische Aspekte, Methodik. *Quintessence Zahntech*; 25: 1133-1144, 1999.
117. Wirz J. Kronen- und Brückenprovisorien.  
In: Wirz J.: *Klinische Material- und Werkstoffkunde*. Berlin: *Quintessenz* 1993.
118. Wirz J. The science of clinical materials Berlin: *Quintessenz* 1993.
119. Wirz J, Bangert R, Jäger K. Kronen- und Brückenprovisorien. Teil I: Anforderungen. *Quintessenz*; 43: 1297-1305, 1992.

120. Wirz J, Nigg N, Schmidli F. Moderne Provisorienkunststoffe. Teil II: Resultate und Diskussion. *Quintessenz*; 46: 245-255, 1995.
121. Yap AU, Sau CW, Lye KW. Effects of finishing/polishing time on surface characteristics of tooth-coloured restoratives. *J Oral Rehabil*; 25: 456-461, 1998.
122. Yap AU, Wong ML, Lim AC. The effect of polishing systems on microleakage of tooth-coloured restoratives. Part 2: Composite and polyacid-modified composite resins. *J Oral Rehabil*; 27: 142-144, 2000.
123. Young HM, Smith CT, Morton D. Comparative in vitro evaluation of two provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*; 85: 129-132, 2001.
124. Yu XY, Wieczkowski G, Davis EL, Joynt RB. Influence of finishing technique on microleakage. *J Esthet Dent*; 2: 142-144, 1990.

# 11 Anhang

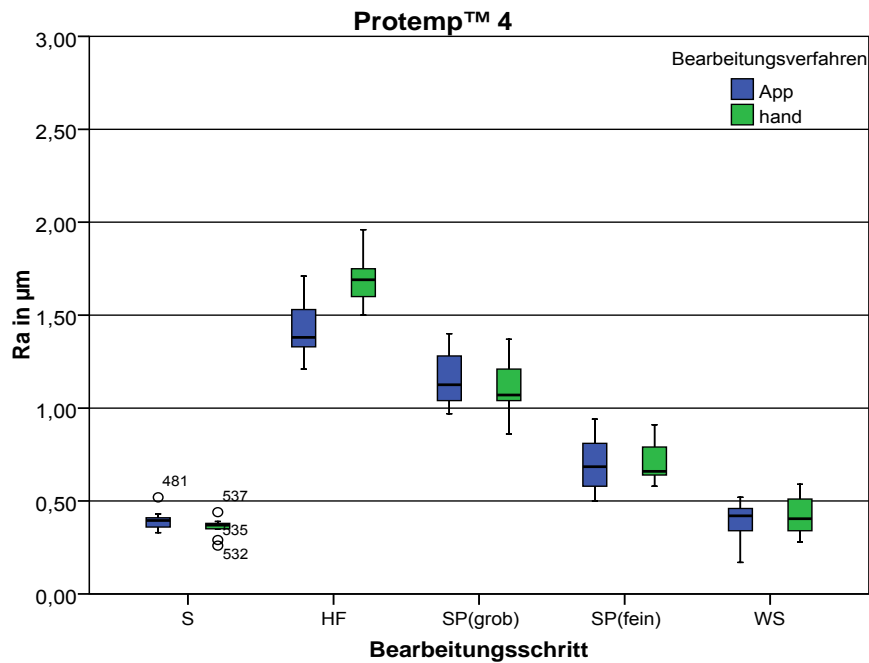
## 11.1 Bestimmung der Bearbeitungszeit

**Tabelle 11.1:** Die Tabelle zeigt die durchschnittlichen Werte der Vorversuche zur Bestimmung der Rauheit in  $\mu\text{m}$ . Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für grober Silikonpolierer ( $\text{SP}^{(\text{grob})}$ ), feiner Silikonpolierer ( $\text{SP}^{(\text{fein})}$ ) und Wollschwabbel (WS).

<b>Bestimmung der Bearbeitungszeit</b>						
	<b>Hand</b>			<b>Apparatur</b>		
<b>SP<sup>(grob)</sup></b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Rmax</b>	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Rmax</b>
15s	0,80	5,81	8,42	0,48	3,67	5,65
30s	0,46	3,35	4,58	0,38	2,78	3,67
45s	0,40	3,02	3,99	0,40	2,98	3,76
60s	0,44	3,35	4,24	0,41	3,03	4,11
<b>SP<sup>(fein)</sup></b>						
15s	0,32	2,30	3,36	0,28	1,85	2,63
30s	0,29	2,11	3,33	0,27	1,76	3,13
45s	0,25	1,99	3,23	0,23	1,26	1,86
60s	0,25	1,96	3,37	0,23	2,15	5,21
<b>WS</b>						
15s	0,17	1,54	2,91	0,18	1,44	2,10
30s	0,12	1,47	4,10	0,19	1,22	1,95
45s	0,10	0,93	1,82	0,17	1,15	1,93
60s	0,10	0,99	2,30	0,14	1,01	1,90

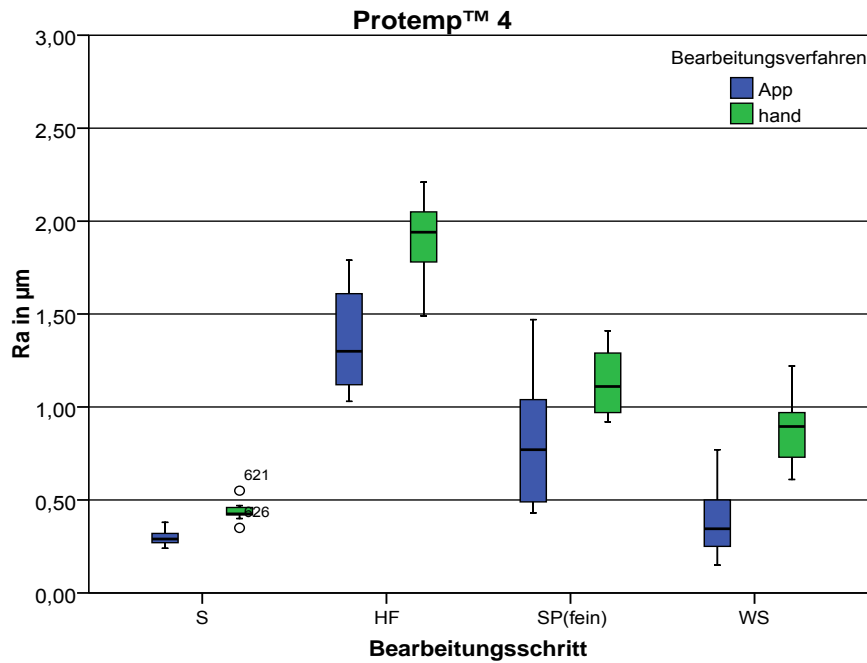
## 11.2 Boxplots des arithmetischen Mittenrauwertes

### 11.2.1 *Protemp*<sup>TM</sup> 4

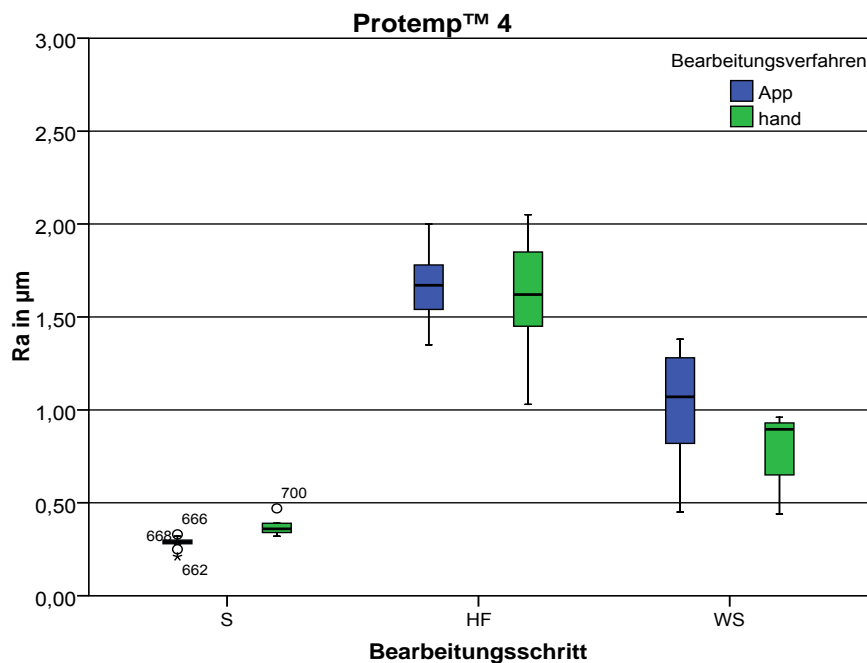


**Abb. 11.1:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).



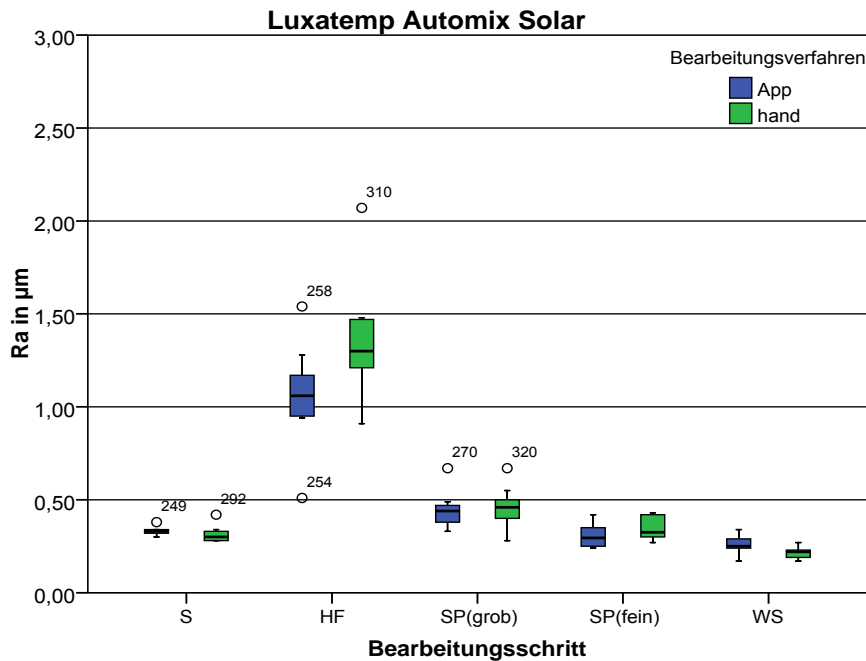


**Abb. 11.2:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).

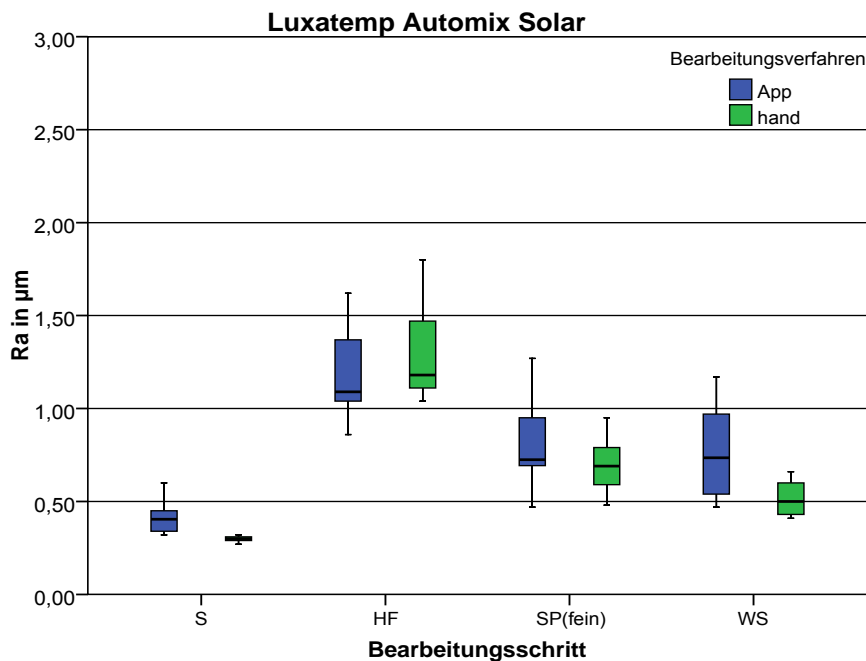


**Abb. 11.3:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS).

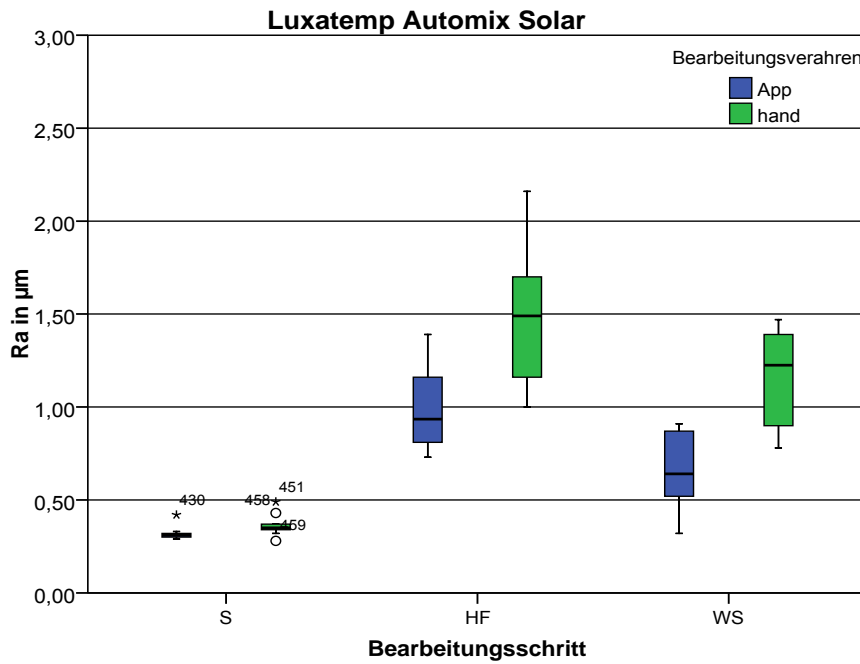
### 11.2.2 Luxatemp Automix Solar



**Abb. 11.4:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes  $R_a$  der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).

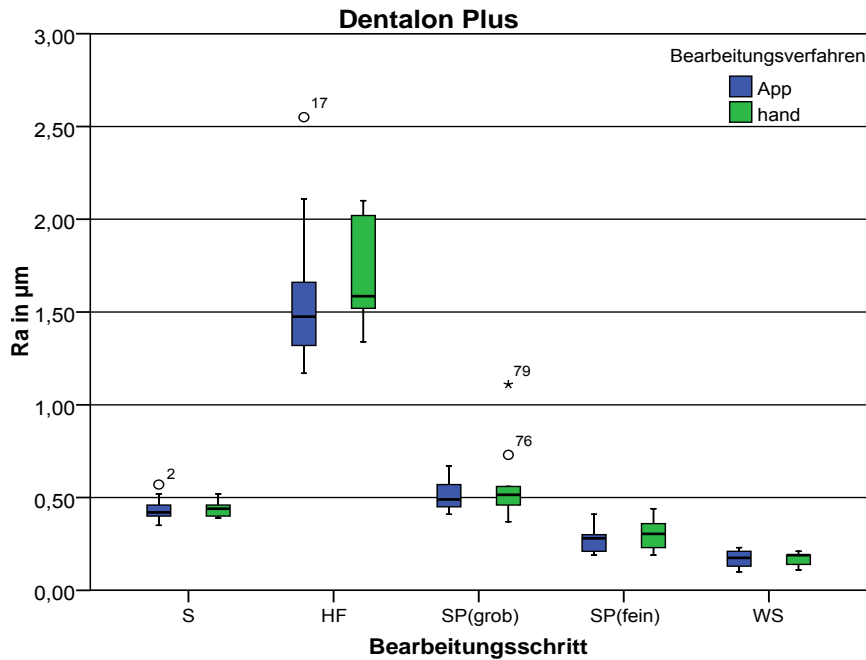


**Abb. 11.5:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes  $R_a$  der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).

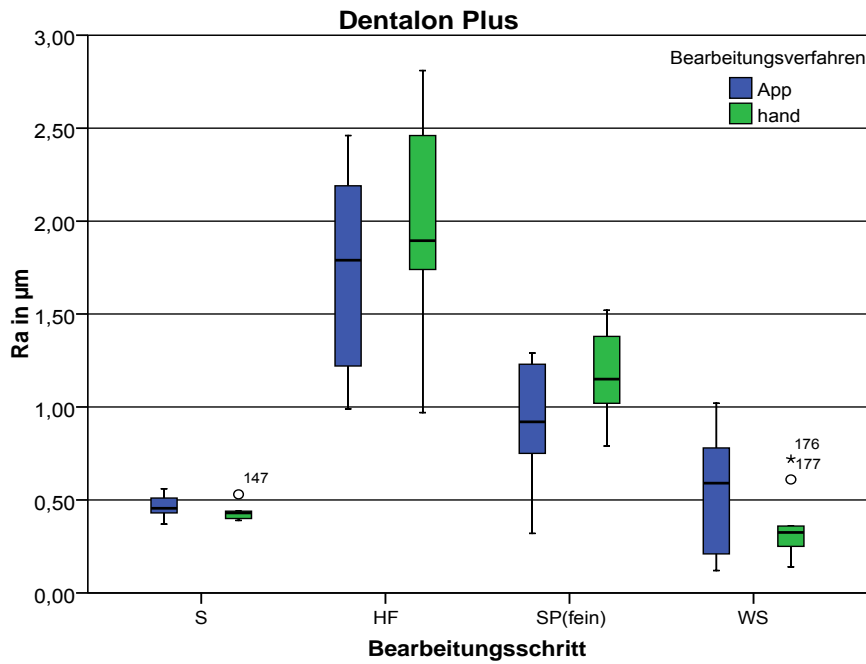


**Abb. 11.6:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS).

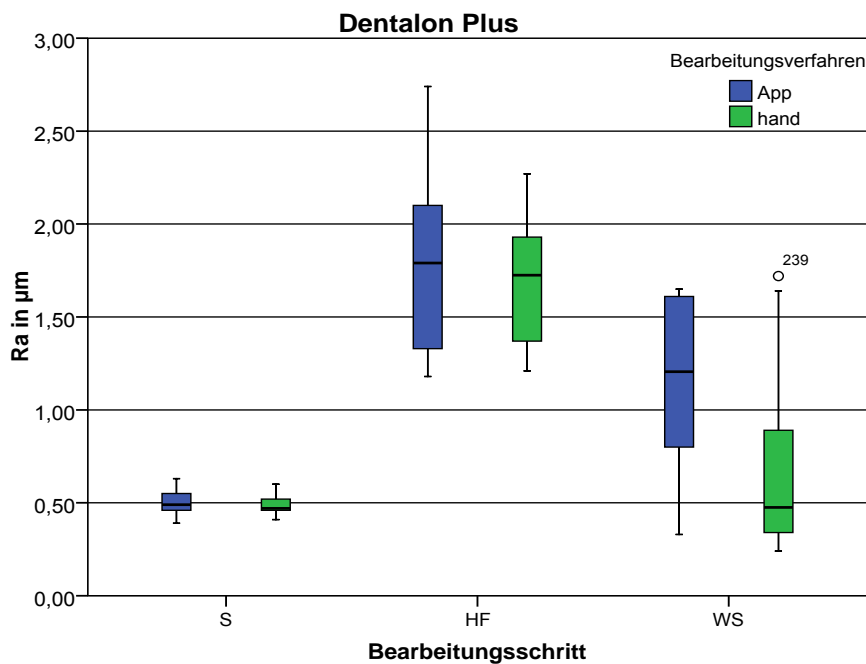
### 11.2.3 Dentalon Plus



**Abb. 11.7:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe SP+SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), grober Silikonpolierer (SP<sup>(grob)</sup>), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).



**Abb. 11.8:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe SP+WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF), feiner Silikonpolierer (SP<sup>(fein)</sup>) und Wollschwabbel (WS).



**Abb. 11.9:** Darstellung des arithmetischen Mittenrauwertes Ra der Bearbeitungsgruppe WS. Die Abkürzungen der Bearbeitungsschritte stehen für Schmirgelpapier (S), Hartmetallfräse (HF) und Wollschwabbel (WS).

## 12 Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die ich wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen habe, 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.“

## 13 Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Bernd Wöstmann und Herrn Prof. Dr. Balkenhol für die Vergabe des Themas dieser Arbeit und der Heranführung an das wissenschaftliche Arbeiten. Besonderer Dank gilt hierbei Herrn Prof. Dr. Bernd Wöstmann durch dessen wissenschaftliche Erfahrung und literarisches Geschick diese Untersuchung profitiert hat.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Heun für seine tatkräftige Unterstützung und seine wertvollen praktischen Anregungen bzgl. der Konzeption des Versuchsaufbaus bedanken.

Schließlich gilt mein Dank meinen Eltern Mechthild und Gernot Winkler, die mich vom Anfang meines Bildungsweges mit viel Hingabe und seelischer Unterstützung begleitet haben.

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen  
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the  
electronic version of the paper.**