

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und  
Kinderzahnmedizin des CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und  
Kieferheilkunde der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin  
Berlin

# DISSERTATION

**Auswirkungen von Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro™  
Prophy Powder als Strahlmittel appliziert mit einem Air-Flow®  
Handy 2+ auf Schmelz, Dentin und demineralisierten Schmelz  
(Initialkaries)**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Seyed Saeed Mohammadian Masouleh

aus Teheran

Datum der Promotion: 04.09.2015

Meiner lieben Frau und  
meinen Eltern gewidmet

## **Vorwort**

Innerhalb des Manuskriptes wird wegen der besseren Lesbarkeit auf die Kennzeichnung mit ©/™/® verzichtet. Die Kennzeichnung der verwendeten Materialien mit ©/™/® ist der Materialliste zu entnehmen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNGEN</b>	<b>1</b>
1.1	Zusammenfassung	1
1.2	Summary	3
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Karies- und Parodontitisrisiko während einer kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen</b>	<b>7</b>
3.1.1	Kariesrisiko	7
3.1.2	Parodontitisrisiko	9
<b>3.2</b>	<b>Prophylaxe</b>	<b>10</b>
3.2.1	Effiziente Mundhygiene	11
3.2.1.1	Mechanische Plaquekontrolle	11
3.2.1.1.1	Maßnahmen durch den Patienten	11
3.2.1.1.2	Professionelle Zahnreinigung	12
3.2.1.2	Chemische Plaquekontrolle	13
3.2.2	Fluoridprophylaxe	14
3.2.3	Ernährung	15
3.2.4	Fissurenversiegelung	15
<b>3.3</b>	<b>Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PWS) in der Prophylaxe</b>	<b>16</b>
3.3.1	Entwicklung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte	16
3.3.2	Anwendungsgebiete	17
3.3.2.1	Entfernung von weichen Belägen und Verfärbungen	17
3.3.2.2	Anwendung in der Kieferorthopädie	17
3.3.2.3	Anwendung in der Parodontologie	17
3.3.2.4	Anwendung vor einer Fissurenversiegelung	18
3.3.3	Auswirkungen der Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf orale Gewebe und zahnärztliche Werkstoffe	19
3.3.3.1	Schmelz und demineralisierter Schmelz (Initialkaries)	19
3.3.3.2	Dentin und Wurzeloberflächen	21
3.3.3.3	Gingiva	23
3.3.3.4	Zahnärztliche und kieferorthopädische Werkstoffe	24
3.3.3.4.1	Kunststoff-Restaurationen	24
3.3.3.4.2	Keramik	25
3.3.3.4.3	Orthodontische Materialien	25
3.3.4	Allgemeine Nebenwirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten	26

<b>4</b>	<b>ZIELSETZUNG DER ARBEIT</b>	<b>28</b>
4.1	Fragestellungen	28
4.2	Hypothese	28
<b>5</b>	<b>MATERIALIEN UND METHODEN</b>	<b>29</b>
5.1	Verwendetes Pulver-Wasser-Strahlgerät (PWS)	29
5.2	Untersuchungen zur Oberflächenveränderung von Rinderschmelz, -dentin und artifiziell induzierter Initialkaries durch PWS	30
5.2.1	Prüfkörperherstellung	30
5.2.1.1	Schmelz	32
5.2.1.2	Demineralisierter Schmelz (Initialkaries)	33
5.2.1.2.1	Aufbau des In-vitro-Kariesmodells	33
5.2.1.2.1.1	Medien	35
5.2.1.2.1.2	Keime	36
5.2.1.2.2	Sterilisation der Proben	36
5.2.1.2.3	Erzeugung kariöser Läsionen	37
5.2.1.3	Dentin	37
5.2.2	Bestrahlung der Prüfkörper	40
5.2.3	Bearbeitung mit Prophylaxepasten	46
5.2.4	Oberflächenmessungen	46
5.2.4.1	Messung der Oberflächenrauheit	49
5.2.4.2	Messung des Zahnhartsubstanzastrags	49
5.2.5	Auswertung	51
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>53</b>
6.1	Mittenrauwert Ra	53
6.1.1	Schmelz	53
6.1.2	Demineralisierter Schmelz	55
6.1.3	Dentin	56
6.1.4	Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin nach PWS-Bearbeitung bei 5 mm Abstand	58
6.2	Zahnhartsubstanzastrag (Wellentiefe Wt)	59
6.2.1	Schmelz	59
6.2.2	Demineralisierter Schmelz	61
6.2.3	Dentin	62
6.2.4	Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin nach PWS-Bearbeitung bei 5 mm Abstand	64
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>65</b>
7.1	Diskussion der Fragestellungen	65
7.2	Diskussion der Materialien und Methoden	65
7.2.1	Herstellung, Vorbereitung und Lagerung der Prüfkörper	65

7.2.2	Bearbeitung der zunächst hochglanzpolierten Prüfkörper	67
7.2.2.1	Bearbeitungszeit	68
7.2.2.2	Pulver-Wasser-Bestrahlung	69
7.2.2.3	Bearbeitung mit den Prophylaxepasten	70
7.2.3	Messverfahren	71
<b>7.3</b>	<b>Diskussion der Versuchsergebnisse</b>	<b>72</b>
7.3.1	Rauheit	72
7.3.2	Zahnhartsubstanzverlust	77
<b>8</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>81</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG</b>	<b>97</b>
10.1	Materialliste	97
10.2	Abbildungsverzeichnis	99
10.3	Tabellenverzeichnis	102
10.4	Danksagung	103
10.5	Lebenslauf	104
10.6	Erklärung an Eides Statt	105

# 1 Zusammenfassungen

## 1.1 Zusammenfassung

Pulver-Wasser-Bestrahlung ist als eine zeitsparende Alternative zur herkömmlichen Plaqueentfernung bekannt [1]. Aber  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver wirkt auf Dentin und demineralisierten Schmelz sehr abrasiv. Ziel dieser Arbeit ist zu prüfen, ob Clinpro Prophy Powder schonender wirkt.

### Methodik

Untere Inzisivi frisch geschlachteter Rinder wurden partiell in einer Polyurethan-Gießmasse mit freiliegenden Labialflächen eingebettet, plangeschliffen und poliert. Es wurden gesunde und demineralisierte Schmelzflächen sowie pulpanahe und pulpaferne Dentinflächen hergestellt. Die Zahnoberflächen wurden mit einem Air-Flow Handy 2+ senkrecht bestrahlt oder mit einer Prophylaxepaste (Cleanic oder SuperPolish) poliert. Die Bestrahlungen der Dentin- und Schmelzprüfkörper erfolgten für 60 s bei 3 verschiedenen Arbeitsabständen (1 mm, 3 mm und 5 mm). Bei demineralisiertem Schmelz erfolgte die Pulver-Wasser-Bestrahlung mit einem Abstand von 5 mm und für 5 s.

Die Rauheit (Ra) und der Materialabtrag (Wt) wurden dann durch mechanische Profilometrie bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgt mit SPSS 18. Mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests wurde geprüft, ob es signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen gibt. Bei Signifikanz folgte der Mann-Whitney-U-Test für die Einzelvergleiche. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

### Ergebnisse

Bei gesundem Schmelz gab es außer der resultierenden Rauheit nach PWS-Bearbeitung aus 1 mm Abstand keinen bedeutsamen Unterschied hinsichtlich Rauheit und Zahnhartsubstanzabtrag zwischen den beiden Pulvern. PWS-Behandlung auf demineralisiertem Schmelz führte sogar mit einer geringen

Strahldauer (5 s) zu einem massiven Schmelzabtrag und -einbruch. Dabei war Air-Flow Prophylaxis Powder ( $73,8 \pm 7,2 \mu\text{m}$ ) deutlich abrasiver ( $p < 0,05$ ) als Clinpro Prophy Powder ( $27,7 \pm 32 \mu\text{m}$ ).

Bei Dentin trug Clinpro Prophy Powder weniger Hartschmelz ab als  $\text{NaHCO}_3$  und hinterließ deutlich glattere Oberflächen. Hinsichtlich Abrasivität und Rauheit gab es keinen signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ) zwischen pulpanahem und -fernem Dentin.

Im Allgemeinen erhöhten sich Rauheit und Hartschmelzabtrag mit abnehmendem Arbeitsabstand bei PWS-Behandlung.

### **Schlussfolgerung**

Bei gesundem Schmelz sind die Wirkungen der beiden untersuchten Pulver bezüglich Rauheit und Schmelzverlust fast gleich. Der Schmelzabtrag war vernachlässigbar ( $< 1,5 \mu\text{m}$ ). Aufgrund der hier gefundenen Ergebnisse stellt PWS-Bearbeitung mit Clinpro Prophy Powder mit 5 mm Strahlabstand bei Patienten mit Schmelzdefekten und schlechter Mundhygiene die bessere Alternative zu Air-Flow Prophylaxis Powder dar, zumal Initialkaries bisweilen vor dem Reinigen nicht erkannt wird. Freiliegende Wurzeloberflächen sollten nur kurz mit Clinpro Prophy Powder bestrahlt werden. Nach Pulver-Wasser-Bestrahlung sollte eine Politur mit einer feineren Prophylaxepaste mit niedriger Abrasivität zum Beispiel SuperPolish durchgeführt werden. Bei Initialkaries (White-Spot-Läsion) sollte man PWS-Behandlungen zur Vermeidung eines Einbruchs der Schmelzoberfläche unterlassen.

## 1.2 Summary

Air-polishing is known as a time-saving alternative to conventional plaque removal [1]. But NaHCO<sub>3</sub>-powder is very abrasive on dentin and demineralized enamel. The objective of this study is to examine whether Clinpro Prophy Powder represents a less abrasive alternative.

### Methods

Lower incisors of freshly slaughtered cattle were partially embedded in a polyurethane resin with exposed labial surfaces, ground flat and polished. Sound and demineralized enamel surfaces as well as pulpnear and pulpfar dentine surfaces were produced. The tooth surfaces were polished with an Air-Flow Handy 2+ perpendicularly or with a prophylaxis paste (Cleanic or SuperPolish). The air-polishing of the dentin and enamel samples was performed at 3 different working distances (1 mm, 3 mm and 5 mm). The air-polishing of the demineralized enamel specimens was carried out at a distance of 5 mm and for 5 s.

The roughness (Ra) as well as the loss of hard tissue (Wt) was then determined by mechanical profilometry. Statistical analysis was performed with SPSS 18. The Kruskal-Wallis test was used to examine significance of group differences. The Mann-Whitney U-test was followed for pair group comparisons in case of significance. The significance level was set at  $p=0.05$ .

### Results

Except resulting roughness after air-polishing at 1 mm distance there was no significant difference between the two powders regarding abrasiveness and roughness in sound enamel. Air-polishing of demineralized enamel - already after 5 s - led to massive enamel abrasion and breakdown. Thereby, Air-Flow Prophylaxis Powder ( $73.8 \pm 7.2 \mu\text{m}$ ) was significantly ( $p < 0.05$ ) more abrasive than Clinpro Prophy Powder ( $27.7 \pm 32 \mu\text{m}$ ).

In dentin, Clinpro Prophy Powder removed less hard tissue than Air-Flow Prophylaxis Powder and left much smoother surfaces. Regarding abrasiveness and roughness there was no significant difference ( $p > 0.05$ ) between pulpnear and pulpfar dentin. Generally, roughness and loss of hard tissue after air-polishing were increased with decreasing working distance.

### **Conclusions**

In sound enamel, the effects of the two investigated powders with respect to roughness and enamel loss were almost the same. The enamel loss was negligible ( $< 1.5 \mu\text{m}$ ). Based on the results of the present study, air-polishing with Clinpro Prophy Powder at 5 mm distance is the better alternative to Air-Flow Prophylaxis Powder in patients with enamel defects and poor oral hygiene, especially considering that initial caries sometimes remains undetected before cleaning. Exposed root surfaces should be briefly polished with Clinpro Prophy Powder. Polishing with a finer prophylaxis paste with low abrasiveness (e.g. SuperPolish) is recommended after air-polishing. In case of initial caries (white spot lesion), air-polishing should be omitted to avoid breakdown of the intact enamel surface.

## 2 Einleitung

Etwa die Hälfte der Kinder und Jugendlichen eines Jahrgangs werden kieferorthopädisch als behandlungsbedürftig eingestuft und behandelt [2,3]. Aus kieferorthopädischer Sicht haben höchstens 5 % der Bevölkerung ein Idealgebiss [3,4]. Die Korrektur von Zahnfehlstellungen beziehungsweise -engständen soll durch eine bessere Mundhygienefähigkeit Parodontitisanfälligkeit [5] und das Kariesrisiko reduzieren. Platzmangel im Bereich der Unterkiefer-Frontzähne ist ein Risikofaktor für chronische Gingivitis und Parodontitis im höheren Lebensalter [6]. Andererseits ist das Gingivitis- und Kariesrisiko während einer kieferorthopädischen Behandlung erhöht [7,8]. Durch Bögen, Brackets und Bänder entstehen Stellen, die nicht einfach zu reinigen sind. Das verstärkt die Plaqueansammlung und führt zu verlängerten Säureangriffen auf die Zahnhartsubstanzen [9]. Eine intensive Mundpflege bei den Patienten spielt deshalb eine große Rolle bei der Karies- und Parodontitisprophylaxe. Maßnahmen, wie Mundhygiene-Instruktionen (Zahnbürste und Zahnseide), Fluoridierung, das Erheben von Mundhygiene-Indizes sowie professionelle Zahnreinigungen, verbessern nachweislich die Zahngesundheit [10]. Die konventionelle professionelle Zahnreinigung mittels Küretten und das Nachpolieren der Zähne mit Prophylaxepasten dauert bei einem Patienten mit durchschnittlicher Belagsmenge in der Regel 40 Minuten [11]. Diese Zeit erhöht sich bei Patienten mit Brackets durch die erschwerte Erreichbarkeit der zu säubernden Flächen. Eine solche Reinigung ist somit sehr arbeitsintensiv und teuer. Der Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten (PWS) zur Zahnreinigung verkürzt die Arbeitszeit und vereinfacht die professionelle Zahnreinigung [12]. Dabei können alle Nischen erreicht werden, ohne den Bogen rauszunehmen.

Nicht alle PWS-Geräte sind zur regelmäßigen Anwendung in der Kieferorthopädie empfehlenswert. In der Vergangenheit wurden bereits mehrere Pulver-Wasser-Strahlgeräte bezüglich ihrer Wirkungen und Nebenwirkungen verglichen [13-15]. Hierbei gab es klinisch relevante Unterschiede zwischen den Geräten. Das Standardpulver für PWS-Geräte besteht vorwiegend aus  $\text{NaHCO}_3$ , das insbesondere auf Dentin sehr abrasiv wirkt [13,16]. Das Clinpro Prophy Powder enthält über 99 %

Glycin [17] und soll hinsichtlich Dentin- und Zementabtrag viel schonender als das Standardpulver sein [18], wobei sich die Wirkungen von beiden Pulvern auf gesundem Schmelz hinsichtlich Abrasivität und Rauheit nicht bedeutend voneinander unterscheiden [15].

## 3 Literaturübersicht

### 3.1 Karies- und Parodontitisrisiko während einer kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen

Die erhöhten Karies- und Parodontitisrisiken während einer festsitzenden Behandlung sind wesentliche Kritikpunkte an festsitzenden Apparaturen [8,19-21], die den Erfolg solcher Behandlungen in Frage stellen können.

#### 3.1.1 Kariesrisiko

"Plaque ist ein strukturierter, zäher, verfilzter Zahnbelag (Biofilm) aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterienzellen" [22]. Zur Beschreibung von Plaque wird auch der Begriff "dentaler Biofilm" verwendet. Ein Biofilm wird definiert als "3-dimensionale Ansammlung interagierender Mikroorganismen, die an einer Oberfläche haften und in eine Matrix extrazellulärer polymerer Substanzen eingebettet sind" [23]. "Plaque ist ein notwendiger Faktor für die Kariesentstehung. Ihre Metaboliten sind für die Demineralisation der Zahnhartsubstanzen verantwortlich" [22].

"Die Entwicklung dentaler Plaque vollzieht sich in mehreren Schritten. Auf einer gründlich gereinigten Zahnoberfläche adsorbiert ein unstrukturierter azellulärer Film (acquired pellicle, sekundäres Zahnoberhäutchen). Dieses Häutchen (0,1 bis 1  $\mu\text{m}$ ) besteht in erster Linie aus den Proteinen des Speichels (saure prolinreiche Proteine, Glykoproteine, Serumproteine, Enzyme, Immunglobuline), die aufgrund ihrer Eigenladungen an die Kalzium- und Phosphatgruppen des Apatits der Zahnhartsubstanzen elektrostatisch binden können. Die Pellicle ist semipermeabel, d. h., sie steuert in einem gewissen Ausmaß die Austauschvorgänge zwischen Mundhöhlenmilieu, Plaque und Zahn. Sie befeuchtet zudem den Zahn und schützt ihn beim Essen vor Abrasion. An diese Membran heften sich innerhalb weniger Stunden als Frühbesiedler selektiv zuerst grampositive Kokken und Aktinomyzeten

an. [...] Ausgereifte Plaque besteht aus dicht gepackten Bakterien (60-70 Vol%), die in ein amorphes Material, die Plaquematrix, eingebettet sind. Die Matrix ermöglicht den Zusammenhalt der Bakterien und die Haftung des Biofilms an Oberflächen. [...] Die Plaque ist in diesem Zustand durch die Selbstreinigungskräfte der Mundhöhle nicht mehr vom Zahn zu entfernen" [22].

Das erste Stadium einer Schmelzkaries ist die sogenannte Initialkaries oder "White-Spot-Läsion". Initialkaries wird erst nach Plaqueentfernung und Trocknen der Schmelzoberfläche sichtbar. In fortgeschrittenen Stadien wird Initialkaries auch in feuchtem Zustand sichtbar. In diesem Stadium kann Karies sogar das Dentin erreicht haben [24-26].

Zahnstein entsteht durch Einlagerung organischer Substanzen (Mineralien) in die Plaque. Über dem Zahnstein befindet sich oft eine Plaqueschicht [27].

Gruppen- und individualprophylaktische Maßnahmen in Deutschland haben dazu beigetragen, dass die Karieshäufigkeit bei Kindern und Jugendlichen stark gesunken ist. Das von der Weltgesundheitsorganisation für das Jahr 2000 gesetzte Ziel, ein DMFT-Wert von 2,0 bei 12-Jährigen, wurde in Deutschland bereits 1997 mit einem Wert von 1,7 erreicht [28]. Im Jahr 2005 war der DMFT-Wert noch besser und betrug 0,7 [29].

Bei einer Multibracket-Behandlung kommt es zu einer verstärkten Plaqueakkumulation insbesondere auf Kompositflächen in der Umgebung geklebter Brackets, an der Schmelz-Komposit-Grenze sowie unter Bändern, bei denen der Zement ausgewaschen ist, oder die sich gelockert haben [16,30,31]. Die häusliche Mundhygiene bei Multibracket-Patienten ist in vielen Fällen unzureichend [32]. Starke Plaqueansammlung an den schwer zugänglichen Stellen (um die Brackets und Bänder sowie unter den Bögen) führt zu einer Schmelzdemineralisation und Initialkaries (White-Spot-Läsionen) [33].

Willmot [34] hat sechs Monate nach dem Entfernen von Bändern und Brackets eine Reduktion der Flächen mit White-Spot-Läsionen um 50 % festgestellt.

### **Kariesinfiltration**

Zur Behandlung kariöser Läsionen haben Meyer-Lückel und Paris [35] eine neue Methode (Kariesinfiltration) entwickelt. "Das Prinzip der Kariesinfiltration beruht auf

der Penetration eines niedrigviskösen Kunststoffes in den Läsionskörper einer Karies (Infiltration). Nach Aushärtung verschließt der Infiltrant die Läsionsporen und stellt somit eine Diffusionsbarriere für Säuren und auch niedermolekulare Kohlenhydrate dar" [35]. "Als positiver Nebeneffekt verlieren Schmelzbereiche von kariösen Läsionen nach Infiltration ihr weißliches Aussehen. Somit ähneln nach Infiltration kariöse Bereiche optisch wieder dem gesunden Schmelz" [35].

"Initialkaries erscheint weiß, weil ein größerer Anteil des einfallenden Lichts zurückgestreut wird, als von den umgebenden nicht betroffenen Schmelzbereichen. Ursache dafür ist ein vergrößertes Porenvolumen. Darunter versteht man die Zunahme der Poren in Zahl und Größe, wenn der Zahnschmelz demineralisiert wird. Der Unterschied zwischen dem Brechungsindex der Luft bzw. Elektrolyte, die diese Poren füllen, und dem des angrenzenden Schmelzes ist verantwortlich für die unterschiedlichen optischen Eigenschaften" [36].

### **3.1.2 Parodontitisrisiko**

Klinisch ist in der Umgebung kieferorthopädischer Bänder und Brackets oft eine Gingivitis festzustellen [37,38]. Nach dem Einsetzen von Brackets haben Naranjo et al. [37] jedoch weder einen Attachmentverlust noch eine vergrößerte Sulkustiefe festgestellt. Der Gingiva- und Plaque-Index waren aber angestiegen und die Blutung beim Sondieren hatte zugenommen. Pathogene Bakterien, die Zahnfleischentzündung und -blutung verursachen, waren mehr als bei der Kontrollgruppe zu finden.

Bei behandelten Zähnen ist laut Diedrich und Mitarbeitern [38] eine Gingivitis im Interdentalraum festzustellen. Zementdefekte, die die Ränder von Bändern aufweisen, begünstigen das Entstehen einer bakteriellen Plaque. Allerdings war die Entzündung der bukkalen und lingualen Gingivaränder nicht so ausgeprägt, weil die Bandränder oberhalb der Gingiva lagen.

Kim et al. [39] haben gezeigt, dass sich die Zahl parodontopathogener Bakterien bereits eine Woche nach Einsetzen von Brackets und Bänder erhöht und im Laufe der Zeit steigt. Bei Molaren, die behandelt wurden, war dieser Anstieg höher als bei Zähnen mit Brackets.

Noch längere Zeit nach Abnahme von Bändern und Brackets ist eine leicht erhöhte Anzahl der bei einer Gingivitis auftretenden Keime an behandelten Zähnen zu finden [40]. Der Parodontalzustand bebänderter Zähne ist nach Miethke und Bernimoulin [41] sowie Semrau [42] signifikant schlechter als der von Zähnen mit Brackets, während der Zustand der unbehandelten Kontrollzähne besser als die beiden zuvor genannten Gruppen war. Choi et al. [43] haben festgestellt, dass sich die Zahl parodontopathogener Bakterien drei Monate nach Entfernen festsitzender kieferorthopädischer Apparatur deutlich reduziert.

### 3.2 Prophylaxe

Kieferorthopädische Behandlungen mit festsitzenden Apparaturen sind mit einer Erhöhung der Entstehungswahrscheinlichkeit für Karies [44] und Gingivitis beziehungsweise Parodontitis [45] verbunden. Allerdings kommt es bei Multibracket-Behandlung nicht zwangsläufig zu Karies und Parodontitis. Vielmehr kann das Risiko durch behandlungsbegleitende Prophylaxemaßnahmen reduziert werden [7,40,46].

Die Beurteilung des individuellen Kariesrisikos jedes Patienten vor seiner Behandlung ist entscheidend für die Planung prophylaktischer Maßnahmen.

Es gibt eine Polarisierung der Kariesverteilung in der Bevölkerung: 7,9 % der Patienten vereinigten im Jahr 1999 etwa ein Drittel aller erkrankten Zähne auf sich [28]. Die Kariespolarisierung hat sich von 1997 bis 2005 sogar noch verstärkt: laut DMS IV-Studie im Jahr 2005 hatten 10,2 Prozent der untersuchten 12-jährigen Kinder eine Karieserfahrung mit mehr als zwei befallenen Zähnen und 61,1 % der Karieserfahrungen ihrer Altersgruppe waren bei diesen Hochrisikopatienten zu finden [29]. Jost-Brinkmann et al. [7] stellten fest, dass 10,3 % von 108 jungen Patienten 50 % der während einer Multibracket-Behandlung neu entstandenen Läsionen aufwiesen.

Die Kariesprävalenz (DMFT-Wert und Anzahl der Initialläsionen) sowie die subjektive Einschätzung des Behandlers helfen bei der Beurteilung des Kariesrisikos [47].

Hellwig hat folgende Maßnahmen als die vier wichtigen Säulen der Karies- und Parodontitisprophylaxe zusammengefasst [48]:

1. effiziente Mundhygiene
2. regelmäßige Fluoridierung
3. zahngesunde Ernährung
4. Fissurenversiegelung

Die regelmäßige Mundhygiene steht im direkten Zusammenhang mit der Prävention von Karies, Gingivitis und Parodontitis [49,50]. Professionelle Zahnreinigung kann die häusliche Mundhygiene unterstützen. Fareundorfer et al. [40] postulierten, dass nur professionelle Zahnreinigungen eine möglicherweise permanente pathologische Veränderung der subgingivalen Plaqueflora verhindern.

Fluoride haben in den Industrieländern wesentlich zur Verringerung der Glattflächenkaries beigetragen und sind das Mittel der Wahl zur Ausheilung von Initiailläsionen [51]. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Frequenz sowie Intensität der Prophylaxe und der Inzidenz von White-Spot-Läsionen [52]. Eine Ernährungsumstellung, insbesondere eine Reduzierung des Zuckerkonsums, trägt zur Senkung des Kariesrisikos bei [53]. Fissurenversiegelung ist eine effektive Methode zur Kariesprävention und reduziert die Molarenkaries [54].

### **3.2.1 Effiziente Mundhygiene**

#### **3.2.1.1 Mechanische Plaquekontrolle**

##### **3.2.1.1.1 Maßnahmen durch den Patienten**

Bei Multibracketpatienten sind neben herkömmlichen Zahnbürsten zusätzliche Hilfsmittel wie Interdentalraum- oder Monobüschelbürsten für eine effiziente Mundhygiene notwendig. Da die Flächen unter dem Bogen und die zervikalen Bandränder schwierig zugänglich sind, sollten die Patienten eine spezielle Putztechnik anwenden, um auch diese Problemzonen reinigen zu können [55].

### 3.2.1.1.2 Professionelle Zahnreinigung

Üblicherweise werden Ultraschallgeräte für eine grobe und Handinstrumente (Scaler und Küretten) für eine feine Entfernung von Belägen und Konkrementablagerungen sowie Gummikelche und Polierpasten zur Politur und Pulver-Wasser-Strahlgeräte [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver] zum Entfernen exogener Zahnverfärbungen eingesetzt [12,56].

Das Entfernen von weichen Belägen und Verfärbungen sowie die Nachbearbeitung nach Ultraschallanwendung erfolgen durch Handinstrumente (Küretten, Scaler) und die Politur der Zahnoberflächen mit Prophylaxepasten und rotierenden Gumminäpfen beziehungsweise Bürsten [11]. Die Prophylaxepaste Cleanic mit dem Abrasivstoff Perlit erfüllt gleichzeitig zwei Aufgaben (Reinigung und Politur der Zahnoberflächen) [57]. Perlit zerfällt während der Zahnreinigung, so dass die Abrasivität nach und nach ab- und die Polierwirkung zunimmt. Cleanic ist daher nach Lutz und Imfeld [57] das Mittel der Wahl, wenn die Zahnreinigung mit einer einzigen Paste erfolgen soll.

Jost-Brinkmann [13] hat die Auswirkungen von 3 Prophylaxepasten (Cleanic, CCS 170, CCS 250) auf Schmelz als Kontrollgruppe untersucht. Unter den verglichenen Produkten hinterließ Cleanic die glatteste Oberfläche. Der Schmelzabtrag war nach Politur mit CCS 250 am höchsten gefolgt von CCS 170 (allerdings war der Unterschied nicht signifikant) und Cleanic.

In einer ähnlichen Studie verglich Nedwed [58] die Auswirkungen von 3 Prophylaxepasten (Cleanic, CCS 120, CCS 40) und dem Pulver-Wasser-Strahlgerät Prophyflex 2 auf Schmelzoberflächen miteinander. Die Prophylaxepasten CCS 120 und CCS 40 hinterließen sowohl in Kombination mit einer Bürste als auch mit einem Gummipolierer signifikant glattere Oberflächen als Cleanic. Mit jeder Prophylaxepaste war der Abtrag mit der verwendeten Bürste signifikant größer als mit dem verwendeten Gummipolierer.

Bei Politur der Zahnoberflächen mit Prophylaxepasten ist Dentin sensibler als Schmelz und weist anschließend eine rauere Oberfläche auf [59]. Trotzdem scheint die professionelle Zahnreinigung mit Prophylaxepasten auf freiliegenden Dentinarealen kein wesentlicher Faktor bezüglich Dentinabtrag zu sein. Zimmer et al. [60] haben bei professioneller Reinigung mit verschiedenen Prophylaxepasten nur einen geringen Dentinabtrag gemessen und zwar unabhängig davon, ob eine Bürste oder ein Gummipolierer verwendet wurde.

Khalefa et al. [15] untersuchten die Auswirkungen von Pulver-Wasser-Bestrahlung mit Clinpro Prophy Powder (Glycin), Air-Flow Classic Powder (NaHCO<sub>3</sub>-Pulver) und ProphyPearls (CaCO<sub>3</sub>) sowie Politur mit Prophylaxepasten (Cleanic und CCS 40) und mit Hilfe einer Polierbürste auf menschliche Milchzähne und Rinderzähne der 1. und 2. Dentition. ProphyPearls war am abrasivsten. Die Effekte von Clinpro Prophy Powder, Air-Flow Classic Powder und Cleanic auf Schmelz waren fast gleich. Eine Politur mit CCS 40 hinterließ die glatteste Oberfläche mit der geringsten Abrasion. Milchzähne sind generell bei Pulver-Wasser-Bestrahlung und Politur mit Prophylaxepasten sensibler als bleibende Zähne [15].

### 3.2.1.2 Chemische Plaquekontrolle

Chlorhexidin (CHX) ist ein wirksames Mittel zur Karies-prophylaxe. Seine antibakterielle und kariostatische Wirkung wurde wissenschaftlich nachgewiesen [61-63]. Chlorhexidin wirkt unselektiv gegen grampositive und -negative Mikroorganismen bakteriostatisch oder bakterizid und außerdem fungizid [64].

Bei Multibracket-Patienten ist der Chlorhexidineinsatz zur Plaquehemmung und Gingivitisbekämpfung empfohlen worden [65,66]. Chlorhexidin führt aber bei regelmäßiger Anwendung zu störenden bräunlichen Verfärbungen der Zähne [67-71]. Die Wirksamkeit von CHX zur Kariesprophylaxe ist auch bei Multibracket-Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte, die ein erhöhtes Kariesrisiko haben, untersucht worden [72]. Cervitec-Gel, ein Chlorhexidin-Präparat, reduziert effektiv die Plaquebildung und reduziert die Zahl der Mutans-Streptokokken in supragingivaler Plaque [73]. Øgaard et al. [74] zeigten, dass die Zahlzunahme der Mutans-Streptokokken in der Zeit vom Bekleben bis 12 Wochen danach in einer Gruppe mit Cervitec und Fluor Protector (ein Fluorid-Lack) signifikant geringer war als in der Kontrollgruppe (nur mit Fluor Protector). Während der 24 Wochen nach dem Bekleben konnten keine Auswirkungen auf die anderen untersuchten Parameter (Visible Plaque Index, Gingival Bleeding Index, White Spot Lesion Index) festgestellt werden.

Listerine ist eine Mundspüllösung, deren Wirkung gegen Gingivitis ausgeprägter ist als gegen Plaquebildung, wobei CHX die Plaquebildung sehr stark reduziert [75].

Eine Studie von Neely et al. [76] bestätigt, dass CHX hinsichtlich Plaquereduzierung langfristig wirksamer als Listerine ist. Gegen Gingivitis wirken beide Mundspüllösungen aber fast gleich. Deswegen empfehlen die Autoren die langfristige Anwendung von Listerine als eine Alternative zu CHX bei Patienten mit Gingivitis zur Vermeidung von Verfärbungen und Zahnsteinbildung.

Charles et al. [77] haben in einer 6-monatigen Studie festgestellt, dass Listerine und CHX eine vergleichbare Aktivität gegen Plaquebildung und Gingivitis haben, wobei die Nebenwirkung von CHX (Zahnverfärbung und Geschmack) die Mitarbeit der Patienten negativ beeinflussen kann. Cortelli et al. [78] fanden einen langfristigen Effekt gegen Plaquebildung und Gingivitis bei Verwendung von Listerine Zero (eine Mundspülung ohne Alkohol mit entschärftem Geschmack). Natürlich ist eine alleinige chemische Plaquekontrolle für eine optimale Mundhygiene nicht ausreichend.

### 3.2.2 Fluoridprophylaxe

Fluoridprophylaxe ist ein wirksamer Ansatz zum Vermeiden von Karies [51]. Fluorid verschiebt das lokale Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisation in Richtung der Remineralisation [79]. Die Wasserfluoridierung als systemische Fluoridzufuhr ist hinsichtlich der Effektivität und Kosten die beste Methode der Fluoridzufuhr [80-82], findet in Deutschland aber keine breite Akzeptanz.

Zur regelmäßigen lokalen Fluoridzufuhr eignen sich vor allem fluoridhaltige Zahnpasten. Sie bewirken bei kontinuierlicher Anwendung eine Reduktion des Karieszuwachses [83]. Bei Mundspüllösungen scheinen Amin-/Zinnfluorid-Kombinationen (Meridol) langfristig wirksamer zu sein als Natriumfluorid-Spüllösungen [84,85]. Im Gegensatz dazu konnten Benson und Mitarbeiter [86] aber keinen bedeutsamen Unterschied zwischen Zahnpasten/Mundspülungen aus Amin-/Zinnfluorid-Kombinationen und Natriumfluorid bezüglich White-Spot-Index, Visible-Plaque-Index und Gingival-Bleeding-Index während einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung feststellen.

Fluoridlacke sind hoch konzentrierte Fluoridpräparate. Bei Verwendung von Fluoridlack (Duraphat) konnte bei Kindern bis zum 16. Lebensjahr für die bleibenden Zähne eine statistisch gesicherte Kariesreduktion von 46 % (30–63 %) und für

Milchzähne von 33 % (19–48 %) ermittelt werden [87]. Durch professionelle Applikation von Fluoridlacken wird auch die Entstehung von Initialläsionen reduziert [88-90].

### **3.2.3 Ernährung**

Die seit 1990 durchgeführten Mundgesundheitsstudien deuten auf einen engen Zusammenhang zwischen dem Süßigkeitenkonsum und dem Kariesbefall unter deutschen Kindern hin [91]. Die Häufigkeit der Zuckerzuführung ist ein wesentlicher Faktor für das Entstehen neuer Karies [53].

In der Praxis hat sich die Substitution von Zucker durch Zuckeraustauschstoffe wie zum Beispiel Xylit, Sorbit und Mannit als Alternative bewährt. Sie haben einen zuckerähnlichen chemischen Aufbau mit gleichem Volumen und etwa gleicher Süßkraft. Sorbit wird von kariogenen Mikroorganismen nur langsam verstoffwechselt, Xylit überhaupt nicht [92], so dass Zuckeraustauschstoffen im Gegensatz zu Zucker keinen pH-Wert-Abfall bewirken.

### **3.2.4 Fissurenversiegelung**

Bei Fissuren und Grübchen besteht eine erhöhte Kariesgefahr [93]. Die Fissurenversiegelung kann das Entstehen von Karies in Fissuren und Grübchen verhindern [94]. Bei Kindern mit versiegelten Zähnen sind wesentlich niedrigere mittlere DMFT-Werte zu registrieren als bei Kindern ohne Fissurenversiegelungen [95,96]. Eine bessere Retention kann durch Vergrößerung der Haftfläche erreicht werden. Die Schmelzoberfläche kann durch Anätzen vergrößert werden [97]. Gute klinische Ergebnisse sind von einem guten Randschluss der Versiegelung sowie einer möglichst übergangsfreien Grenze zwischen Versiegler und Schmelz abhängig. Eine präoperative Reinigung der Fissuren und eine perfekte Trockenlegung sind entscheidend für Randschluss und Haftung des Versieglers [98]. Durch Pulver-Wasser-Bestrahlung können Fissuren effektiver als andere Hilfsmittel, wie zum Beispiel rotierende Bürsten oder Gummipolierer mit Bimsstein, gereinigt werden

[99,100]. Dadurch können die Haftungsfestigkeit sowie Retention zwischen Versiegler und Schmelz erhöht und die Hohlräume unter Versiegelungen vermindert werden [99].

### **3.3 Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PWS) in der Prophylaxe**

#### **3.3.1 Entwicklung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte**

BLACK hat 1945 Abrasivstrahler als Alternative zu rotierenden Instrumenten in die Kavitätenpräparation und Kariesentfernung eingeführt [101], allerdings nicht zur Entfernung der Zahnbeläge und -verfärbungen. Hierbei wird ein Strom von verdichtetem Gas ( $\text{CO}_2$ ) zusammen mit Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )-Partikeln mit einer durchschnittlichen Größe von  $30\ \mu\text{m}$  auf den Zahn gerichtet. Diese Geräte konnten sich gegen Turbinen- und Schnellläuferwinkelstücke in den späten 50er Jahren nicht durchsetzen [102].

Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PWS) sind eine Weiterentwicklung dieser Geräte, allerdings nicht zur Kavitätenpräparation, sondern zur Zahnreinigung. Bei PWS werden im Gegensatz zu den Pulver-Strahlgeräten weniger abrasive Pulver eingesetzt.

Pulver-Wasser-Strahlen zur Zahnreinigung ist eine zeitsparende und weniger aufwendige Alternative zu den herkömmlichen instrumentellen Methoden [1].

Das am häufigsten in Pulver-Wasser-Strahlgeräten verwendete Pulver ist auf Natriumbicarbonat-Basis ( $\text{NaHCO}_3$ -Pulver). Clinpro Prophy Powder besteht dagegen zu über 99 % aus Glycin. Glycin ist eine wasserlösliche Aminosäure mit einem angenehmen Geschmack und ein Bestandteil der Proteine im menschlichen Körper [17].

### **3.3.2 Anwendungsgebiete**

#### **3.3.2.1 Entfernung von weichen Belägen und Verfärbungen**

Pulver-Wasser-Bestrahlung der Zahnoberflächen stellt eine effektive Methode zum Entfernen weicher Beläge sowie von Plaque und Verfärbungen dar [103,104].

Das Entfernen von braunen Zahnverfärbungen, die durch den täglichen Konsum von Tee, Zigaretten, Kaffee und den Gebrauch von Mundspüllösungen, wie Chlorhexidin und Meridol, verursacht werden, ist für die meisten Patienten sehr wichtig [105]. Studien zeigen, dass der Einsatz von PWS auch Verfärbungen sehr effektiv und schnell entfernt [1,13,105,106]. Ramaglia et al. [1] konnten durch PWS die Glattflächen der Zähne viel schneller und effektiver von Plaque und Verfärbungen reinigen als mit Gummikelch und Bimsstein. Sie empfehlen PWS besonders bei Multibracket-Patienten, die regelmäßig eine Chlorhexidin-Mundspülung verwenden.

#### **3.3.2.2 Anwendung in der Kieferorthopädie**

Der Einsatz von PWS im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung stellt eine besondere Indikationsstellung dar. Durch eine Multibracket-Apparatur erhöhen sich die Plaqueretentionsstellen und dementsprechend das Kariesrisiko [7,55]. Insbesondere bei ungenügender Mitarbeit oder mangelnder Geschicklichkeit des Patienten ist eine professionelle Zahnreinigung von großer Bedeutung. Viele Autoren empfehlen daher eine regelmäßige Anwendung von PWS bei Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen [1,13,51,85]. Durch PWS können Verfärbungen sowie Plaque bei Patienten mit einer Multibracket-Apparatur effizient beseitigt werden, ohne dass Bögen, Ligaturen und Federn entfernt werden müssen oder beschädigt werden [1,13,106].

#### **3.3.2.3 Anwendung in der Parodontologie**

Die konventionelle Parodontalbehandlung mit den üblichen Instrumenten (Hand-Scaler und Küretten, Schall- und Ultraschall-Scaler [108]) ist sehr aufwendig und für

Patienten meistens unangenehm. Übrigens kann wiederholte Anwendung dieser Technik zu einem erheblichen Verlust an Wurzelzement und -dentin führen. Die Folgen können Hypersensibilität, Schwächung der betroffenen Wurzeln oder sogar Wurzelfraktur sein [109-111].

Flemmig et al. [110] untersuchten die Abhängigkeit der Defekttiefe einer Ultraschallanwendung auf Wurzeloberflächen von der applizierten Kraft, Angulation und Intensitätseinstellung. Bei maximaler Geräteeinstellung führten 2 N laterale Kraft unter einem Winkel von 90° zu Defekttiefen von bis zu 410,5 µm binnen 40 Sekunden.

PWS sind auch zur Behandlung parodontaler Taschen einsetzbar. NaHCO<sub>3</sub>-Pulver kann aber als Strahlmittel bei Pulver-Wasser-Bestrahlung aufgrund der weichen Struktur des Wurzelzements und -zements zu einem erheblichen Abtrag von Zahnhartsubstanz führen. Daher sollten PWS mit NaHCO<sub>3</sub>-Pulver in der klinischen Praxis zur Behandlung parodontaler Taschen nicht eingesetzt werden [13,16,112-119] (vgl. Kap. 3.3.3.2).

Petersilka et al. [18] zeigten, dass Pulver-Wasser-Strahlen mit Clinpro Prophy Powder bezogen auf Dentin- und Zementabtrag viel schonender wirkt als NaHCO<sub>3</sub>-Pulver. Diese Methode wurde zudem als weniger schädigend für das Parodontalgewebe als subgingivale Zahnreinigung mit Scalern beziehungsweise Küretten oder PWS-Bearbeitung mit NaHCO<sub>3</sub>-Pulver eingestuft [120].

Studien von Petersilka et al. [121,122] zeigten, dass Clinpro Prophy Powder bei der unterstützenden Parodontitistherapie eine effektivere und für die Patienten schonendere Methode zur Reduktion des Bakterienwachstums in den Parodontaltaschen bis zu 5 mm ist als die herkömmliche Behandlung mit Küretten. Ebenso konnten Flemmig et al. [123] zeigen, dass Pulver-Wasser-Bestrahlung bei mittleren bis tiefen Parodontaltaschen mit Clinpro Prophy Powder viel effektiver subgingivale Biofilme entfernt als die konventionelle Methode.

#### **3.3.2.4 Anwendung vor einer Fissurenversiegelung**

Mit Hilfe von PWS ist es möglich, eine bessere Tiefenreinigung von Fissuren zu erreichen als mit konventionellen Methoden. Eine PWS-Anwendung vor einer

Fissurenversiegelung führt zu einer besseren Adhäsion und Dichtigkeit des Versieglers zum Schmelz [124].

### **3.3.3 Auswirkungen der Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf orale Gewebe und zahnärztliche Werkstoffe**

#### **3.3.3.1 Schmelz und demineralisierter Schmelz (Initialkaries)**

Jost-Brinkmann [13] prüfte die Wirkungen vier verschiedener PWS auf Rinderzähne, die 60 Sekunden mit unterschiedlichen Wasser- und Pulvereinstellungen bestrahlt wurden. Das Clean-Jet-Gerät führte auf Schmelz zu einer größeren Rauheit als die zum Vergleich herangezogenen Prophylaxepasten und einem Schmelzabtrag von bis zu 0,1 mm/min. Die drei weiteren Geräte (Air-Flow, Prophy-Jet und Prophy-Unit) führten zu einer Rauheit, die nicht größer war als bei Verwendung von Prophylaxepasten. Der Schmelzverlust durch diese Geräte war entweder geringer oder vergleichbar mit den untersuchten Prophylaxepasten (Cleanic, CCS 170 und CCS 250).

In einer ähnlichen Studie verglich Nedwed [58] die Auswirkungen des Pulver-Wasser-Strahlgerätes Prophyflex 2 auf Schmelz. Das Prophyflex 2 war in Bezug auf den Schmelzabtrag signifikant schonender als die Prophylaxepaste Cleanic. Das Gerät trug allerdings signifikant mehr Schmelz ab als die Prophylaxepasten CCS 120 und CCS 40. Die letzteren Prophylaxepasten hinterließen sowohl in Kombination mit einer Bürste als auch mit einem Gummipolierer signifikant glattere Oberflächen als Cleanic oder Pulver-Wasser-Bestrahlung mit dem Prophyflex 2-Gerät.

Laut Schulte [112] kann die PWS-Bearbeitung von gesundem Zahnschmelz als unbedenklich betrachtet werden. Eine Bearbeitung von Schmelzkaries oder freiliegendem Dentin im Zahnhalsbereich sollte aber vermieden werden. Die Schmelzrauheit erhöht sich nach einer PWS-Bearbeitung um den Faktor 1,5. Diese Rauheitserhöhung ist aber laut Schulte als gering einzustufen und kann auch bei Politur mit vielen Prophylaxepasten beobachtet werden.

Khalefa et al. [15] zeigten, dass kein bedeutsamer Unterschied zwischen Air-Flow Classic Powder [NaHCO<sub>3</sub>-Pulver] und Clinpro Prophy Powder bei Bestrahlung von

Schmelzoberflächen (bovine Zähne der 1. und 2. Dentition sowie menschliche Zähne der 1. Dentition) hinsichtlich Rauheit und Zahnhartsubstanzabtrag besteht. Die Veränderungen beim Prophyflex 3-Gerät waren im Allgemeinen größer als beim Air-Flow Handy 2+. Allerdings war der Unterschied nicht bei allen Gruppen-vergleichen signifikant [15].

Eine Reinigung und Politur mittels Gummikelch und der Prophylaxepaste Oralust führte nach Mahlendorff [14] zu einem größeren Schmelzverlust als eine Anwendung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte Air-Flow-II und Prophy-Jet. Eine PWS-Anwendung auf bereits demineralisiertem Schmelz ist laut Mahlendorff zu vermeiden, da er hierbei einen starken Schmelzverlust beobachtet hat. Beim Vergleich der beiden PWS-Geräte war beim Air-Flow-II eine etwas geringere Abrasion als beim Prophy-Jet festzustellen.

Wimmer [113] zeigte, dass Air-Flow Prophylaxis Powder ( $\text{NaHCO}_3$ ) in Kombination mit einem Prophyflex 3-Gerät mehr Beläge von der Zahnfläche entfernt als andere Pulvern (Clinpro Prophy Powder und ProphyPearls). Der Abstand der Strahldüse zur Zahnoberfläche betrug 5 mm bei einer Strahldauer von 2 s und einem Strahlwinkel von  $90^\circ$  zur behandelten Oberfläche. Clinpro Prophy Powder wirkt auf Restaurationen beziehungsweise freiliegendes Dentin viel schonender als Air-Flow Prophylaxis Powder.

Gerbo und Mitarbeiter [125] konnten keinen signifikanten Schmelzrauheitsunterschied zwischen PWS-Bearbeitung und konventioneller Behandlung mittels Gummikelch und Bimsstein feststellen. Die Autoren haben den Effekt eines 15-jährigen Recallprogramms an Rinderzähnen simuliert und die Rauheit profilometrisch und rasterelektronenmikroskopisch vermessen.

Auch Banek-Himpler [126] konnten bei der Verwendung eines Air-Flow-Gerätes bei 180 Patienten keine Schmelzschäden im Rasterelektronenmikroskop feststellen. Im Gegensatz dazu berichteten Meier et al. [127] von einer aggressiven Wirkung der PWS-Behandlung mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver als Strahlmittel auf Schmelz, Dentin und Restaurationsmaterialien im Vergleich zu konventionellen Methoden (Politur mit Prophylaxepasten mittels Bürste sowie Gummikelch). Die Zahnflächen wurden aber dabei 30 s lang durchgehend bestrahlt.

Ein Risiko bei der Anwendung eines PWS besteht nach Schiffner [128] und Schulte [112] sofern sich unter der Plaque eine Initialkaries befindet. Schiffner [128] stellte

bei seiner Untersuchung fest, dass eine Pulver-Wasser-Bestrahlung der artifiziell demineralisierten Schmelzoberfläche starke Schädigungen zur Folge hat. Mit zunehmender Bestrahlungsdauer kam es zudem zu einer Erhöhung der Defektgröße. Kontturi-Närhi et al. [114] zeigten, dass plaquebedeckte Schmelzflächen durch PWS-Behandlung stärker abradert werden als plaquefreie Proben. Die Autoren nehmen an, dass sich unter der Plaque demineralisierter Schmelz befand, der gegenüber der PWS-Behandlung empfindlicher ist. Auch Boyde [115] konnte nachweisen, dass demineralisierter Schmelz bei PWS-Bearbeitung sogar schneller als Dentin abgetragen wird. Seiner Meinung nach hängt der Widerstand der Zahnhartsubstanzen gegenüber PWS-Behandlung von deren Mineralisationsgrad ab. Viele Studien wurden mit Strahlabständen zwischen 2 und 5 mm durchgeführt [13,16,116,129]. Gerbo empfiehlt ein Abstand von 4 bis 5 mm [106].

Jost-Brinkmann [13] stellte fest, dass der supragingivale Einsatz der untersuchten PWS-Geräte (Air-Flow S1, Prophy-Jet-30 und Prophy-Unit) [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver] auf gesundem Schmelz zu keiner klinisch relevanten Oberflächenveränderung oder Substanzverlust führt, wenn der Strahlwinkel  $90^\circ$  und der Strahlabstand etwa 5 mm beträgt. Ein vierwöchiger Abstand der Pulver-Wasser-Bestrahlung ist dabei vertretbar [13,19,58].

Laut Nedwed [58] gab es zwischen den drei von ihr untersuchten Einstellungen des Prophyflex 2 keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich Rauheit und Schmelzabtrag. Jost-Brinkmann [13] hat auch gezeigt, dass die Einstellung der Pulver/Luft- und Wasserzumischung bei den vier von ihm untersuchten Geräten im klinisch sinnvollen Bereich - außer beim Clean-Jet-Gerät - keinen eindeutigen Effekt auf die Wirkung hat.

### **3.3.3.2 Dentin und Wurzeloberflächen**

Dentin und Wurzelzement weisen eine wesentlich geringere Abrasionsresistenz bei Pulver-Wasser-Bestrahlung auf als Schmelz. Daher ist  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver als Strahlmittel für die Pulver-Wasser-Strahltechnik zum Entfernen subgingivaler Plaque mit einem beträchtlichen Abtrag dieser Gewebe verbunden. Selbst kurze Einsatzzeiten können zu klinisch relevanten Gewebe-defekten führen [114,117,118].

Agger und Mitarbeiter [16] haben festgestellt, dass PWS-Behandlung freiliegender Wurzeloberflächen bereits nach 5 s einen erheblichen Dentinabtrag zur Folge hat. Einen starken Dentinabtrag durch PWS-Anwendung hat auch Jost-Brinkmann [13] gemessen. Er empfiehlt daher, PWS [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver als Strahlmittel] nur bei gesunden kariesfreien Multibracket-Patienten ohne freiliegende Schmelz-Zement-Grenze sowie ohne Füllungen aus Zementen oder Komposit anzuwenden. Auch Boyde [115] beobachtete bei Bestrahlung freiliegender Zementoberflächen selbst bei kontinuierlicher Bewegung des Handstücks einen beträchtlichen Dentinabtrag. Somit wird das Wurzelzement schon nach wenigen Sekunden abgetragen. Aus diesem Grunde empfiehlt er den Einsatz dieser Geräte [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver] im Rahmen der Zahnreinigung nur oberhalb der zervikalen Grenze und auf gesunden Schmelzoberflächen. Diese Ergebnisse korrespondieren mit denen von Bester et al. [116]. Petersilka und Mitarbeiter [119] raten als Konsequenz ihrer Studie von einem PWS-Einsatz mit Pulver auf Natriumbikarbonatbasis bei Patienten mit freiliegenden Wurzeloberflächen ab.

Es ist zu erwähnen, dass oben genannte Studien mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver durchgeführt wurden. Im Gegensatz zu den genannten Studien haben Petersilka und Mitarbeiter [18] festgestellt, dass Clinpro Prophy Powder (Glycin) nur eine geringe abrasive Wirkung auf Wurzelzement und Dentin hat. Dennoch entferne es wirksam Beläge. Beim Vergleich von 4 Pulvern in einer Studie von Pelka et al. [130] hat sich Clinpro Prophy Powder auf Dentin als schonender und ProphyPearls als abrasiver gegenüber  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver erwiesen.

Tada et al. [131] untersuchten die Abrasivität verschiedener Strahlpulver auf menschlichem Dentin.  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 100  $\mu\text{m}$  war am abrasivsten, gefolgt von Glycin-Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 63  $\mu\text{m}$  und dann Glycin-Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 100  $\mu\text{m}$ . Je kleiner die Partikel eines Pulvers desto größer ist die Defekttiefe. In einer weiteren Studie haben Tada et al. [132] die Auswirkungen von 3 Pulvern (Classic [ $\text{NaHCO}_3$ -Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 65  $\mu\text{m}$ ], PERIO [Glycin mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 25  $\mu\text{m}$ ] und SOFT [mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 65  $\mu\text{m}$ ]) mit einem AIR-FLOW Handy S2 auf Dentin mit verschiedenen Abständen der Austrittsdüse zur Dentinoberfläche (2,

3, 4, 5 und 6 mm) und einem Strahlwinkel von 45° untersucht. Die Autoren stellten fest, dass SOFT-Pulver weniger Dentin abträgt als die beiden anderen Pulver. Das entspricht den Ergebnissen ihrer vorigen Studie. Außerdem zeigten die Autoren eine Abhängigkeit der Defekttiefe vom Strahlabstand. So verursacht PWS-Anwendung mit 6 mm Abstand [und bei 45° Strahlwinkel] bei jedem Pulversystem wenig Dentinverlust. Die Dauer der Bestrahlung betrug jeweils 5 Sekunden.

Der Abstand beeinflusst die Defekttiefe aber nicht das Ausmaß des Materialabtrages. Bei zunehmendem Abstand verringert sich zwar die resultierende Defekttiefe aber die bestrahlte Fläche wird größer. Umgekehrt vergrößert sich die Defekttiefe bei abnehmendem Abstand aber die bestrahlte Fläche verkleinert sich [119]. Petersilka et al. [119] haben in ihrer Studie keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Arbeitswinkeln 45° und 90° gefunden. Die Dauer der Bestrahlung hat den größten Effekt auf die Defekttiefe.

Übrigens beeinflusst das Design der Pulverkammer die Menge an Pulver, die den Zahn bestrahlt [133]. Pelka et al. [130] zeigten zudem, dass das Prophyflex 3 unabhängig vom verwendeten Pulver abrasiver als das Air-Flow Handy 2+ auf Wurzeldentin wirkt; der Pulverstrahl des Prophyflex 3-Gerätes ist fokussierter als der Strahlkegel des Air-Flow Handy 2+ und führt somit zu mehr Abrasion.

### 3.3.3.3 Gingiva

Bei der Verwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver] – trotz hoher Effizienz und Effektivität – wird das Weichgewebe nur gering beschädigt [114,134,135]. Laut De Boever und Vande Velde [117] führt die klinische Verwendung eines Prophy-Jet-Gerätes zu einer Desquamation der Gingiva mit begleitender Blutung. Nach zwei bis drei Tagen heilte diese jedoch ab und selbst bei Patienten mit tiefen Taschen kam es zu keiner Ausbildung eines Parodontalabszesses. Weeks et al. [134] fanden nach dem Einsatz eines PWS [mit  $\text{NaHCO}_3$ ] bei Patienten mit gesunder Gingiva oder mit lokalisierter Gingivitis höhere Traumaindices des Zahnfleisches als nach Gummikelchpolitur. Nach einer Woche heilten aber die Verletzungen klinisch ab. Der Effekt auf eine generalisierte Gingivitis wurde jedoch nicht untersucht.

Mishkin et al. [136] empfehlen zur Vermeidung von Auflösungen oberflächlicher Epithelschichten der Lippen, den Mund des Patienten nach der PWS-Anwendung gut auszuspülen und die Lippen vorher mit Vaseline zu schützen. Banek-Himpler [126] fand, dass Zahnfleisch bei PWS-Bearbeitung nur dann beschädigt wird, wenn Gingivaränder zufällig direkt bestrahlt werden. Beschwerden über leichtes Brennen des Zahnfleisches bei manchen Patienten dauerten lediglich 1-2 Tage.

PWS-Reinigung von Zähnen vor deren Extraktion führte zu keinen Heilungskomplikationen des Zahnfleisches an der Extraktionswunde [137]. 2005 beobachteten Kozlovsky et al. [138] in einer Studie nach PWS-Behandlung lokale Verletzungen der Gingiva. Jet-Polisher war bezüglich Keratinverlust aggressiver als Prophyflex-Gerät. Längere Bestrahlungsdauer hat negative Effekte auf Gingiva. Die Autoren empfehlen daher, das Zahnfleisch bei der PWS-Bearbeitung mit einer Aluminiumfolie abzudecken.

Im Gegensatz zu diesen Studien, die mit dem Standardpulver ( $\text{NaHCO}_3$ -Pulver) durchgeführt wurden, zeigt eine Studie von Petersilka et al. [120], dass PWS-Behandlung mit Clinpro Prophy Powder weniger erosiv auf Gingivaepithel wirkt als  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver. PWS-Behandlung mit Clinpro Prophy Powder erwies sich damit auch als weniger schädigend für das Zahnfleisch als die anderen getesteten Behandlungsmethoden (PWS-Behandlung mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver und subgingivale Zahnreinigung mit Scalern und Küretten).

### **3.3.3.4 Zahnärztliche und kieferorthopädische Werkstoffe**

#### **3.3.3.4.1 Kunststoff-Restaurationen**

Schulte [112] beobachtete eine Vergrößerung der Rauheitswerte um den Faktor 6 nach PWS-Anwendung auf Kompositen. Seiner Meinung nach sollten Kompositrestaurationen nicht bestrahlt werden. Im Falle einer PWS-Bestrahlung sollten diese Flächen nachpoliert werden. Jost-Brinkmann [13] empfiehlt daher auch, eine PWS-Bearbeitung von Glasionomerkementen, Kompomeren und Kompositen zu vermeiden. Einen Abtrag von Füllungsmaterialien haben auch andere Autoren beschrieben [139,140].

Pelka und Mitarbeiter [141] fanden, dass Clinpro Prophy Powder für Füllungs-materialien schonender ist als Standardpulver. 2009 zeigten Engel und Mitarbeiter [142], dass Clinpro Prophy Powder auf Bracketumfeldversiegler weniger abrasiv wirkt als  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver. Allerdings muss auch nach dem Bestrahlen von Bracketumfeldversiegler für 5 oder 10 Sekunden mit Clinpro Prophy Powder davon ausgegangen werden, dass die Versiegelung partiell entfernt wurde.

#### **3.3.3.4.2 Keramik**

Bei PWS-Bearbeitung von Keramik hat Schulte [112] im Gegensatz zu anderen Restaurationsmaterialien keine Erhöhung der Rauheit festgestellt. Die Bestrahlung der Keramik hatte im Vergleich zu metallischen Restaurationen keine Änderung des Oberflächenglanzes zur Folge. Franke [143] konnte nach 30 Sekunden PWS-Bestrahlung keine Veränderung der Keramikoberfläche im Rasterelektronenmikroskop feststellen. Erst nach 4,5 Minuten erhöhte sich die Rauheit in Form von Grübchen. Eine PWS-Anwendung [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver] bei Galvanokeramikronen besonders am Goldrand sollte aufgrund ihrer aufrauenden Wirkung vermieden werden [143].

#### **3.3.3.4.3 Orthodontische Materialien**

Jost-Brinkmann und Radlanski [19] studierten im Rasterelektronenmikroskop die Wirkung von PWS auf Stahl-, Keramik- und Kunststoffbrackets. Dabei zeigten die Oberflächen der Stahl- und Keramikbrackets keine klinisch relevanten Veränderungen. Beim Kunststoffbracket kam es jedoch zur Freilegung von Füllerpartikeln, Kantenabrundung und Stufenbildung zwischen Stahlschlitz und Kunststoff.

Gerbo et al. [106] empfehlen PWS-Anwendung wegen ihrer Effizienz in der Plaqueentfernung für Patienten mit kieferorthopädischen Apparaturen. Sie stellten nach PWS keine Schädigen von Ligaturen sowie Drähten fest. Während nach Ramaglia et al. die konventionelle Methode mit Gummikelch und Bims zu leichten

Schäden an Brackets und Bögen führen, konnten bei PWS-Anwendung keine Beschädigungen festgestellt werden [1]. Eine nennenswerte Beeinflussung der Friktion zwischen Bracket und Bogen durch Bestrahlen konnte Jost-Brinkmann [13] nicht nachweisen. Wilmes et al. [144] haben festgestellt, dass PWS sowohl mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver als auch mit Clinpro Prophy Powder keine klinisch relevante Aufrauung der Bracketoberflächen und keine Friktionserhöhung der Drähte (TMA, NiTi und Stahl) bewirken. Nach Pulver-Wasser-Bestrahlung keramischer Brackets war kein Unterschied festzustellen. Bei metallischen Brackets kam es bei längerer Bestrahlungszeit zu einer geringen Aufrauung der Oberfläche. Bei Plastikbrackets empfehlen die Autoren den Einsatz von Clinpro Prophy Powder statt  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver aufgrund seiner geringeren Abrasivität.

### **3.3.4 Allgemeine Nebenwirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten**

Rawson et al. [145] stellten nach fünf Minuten PWS-Anwendung mit Natriumbikarbonat eine systemische Störung des Säure-Basen-Haushaltes des Körpers fest. Der pH-Wert im Serum war jedoch nicht auf einem gefährlichen Niveau, sofern die körpereigenen Puffersysteme funktionierten. Snyder et al. [146] haben aber über gegensätzliche Ergebnisse berichtet. Die Autoren haben nach einer PWS-Anwendung für 5 Minuten mit einem Prophy-Jet-Gerät bei Hunden Blut-Analysen (pH-Wert, Natrium-, Kalium- sowie Bikarbonatkonzentration im Blut) durchgeführt. Nur die Kaliumkonzentration war signifikant erhöht, allerdings war diese Erhöhung nach Aussagen der Autoren klinisch nicht relevant.

PWS-Einsatz (mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver) ist bei Patienten, die eine salzarme Diät verordnet bekommen haben, wegen des Na-Anteils kontraindiziert [136,147].

Bei Patienten mit einer Bronchitis oder Asthma kann das Pulver Atembeschwerden verursachen. Daher wird empfohlen, eine PWS-Anwendung bei chronischen pulmonalen Obstruktionen zu vermeiden [147,148].

Zudem sollte das Zahnfleisch bei einer PWS-Anwendung aufgrund einer Embolie-Gefahr durch eingeblasene Luft in den Körperkreislauf nie direkt bestrahlt werden [147]. Emphysem kann auch durch PWS-Anwendung entstehen [149,150]. Bei gesunden Patienten kam es jeweils zu einer Rückbildung des Emphysems innerhalb

von 24 bis 72 Stunden. Entgegen diesen Vorkommnissen fanden Petersilka et al. [121,122] bei der Bestrahlung von Wurzeloberflächen [mit Clinpro Prophy Powder] im Rahmen einer Parodontalbehandlung keine Ausbildung eines Emphysems, obwohl sie parodontale Taschen direkt bestrahlt haben. Die Autoren führen dieses Ergebnis auf die geringen abrasiven Eigenschaften des Pulvers Clinpro Prophy Powder zurück und betrachten eine PWS-Anwendung mit Clinpro Prophy Powder zur Parodontalbehandlung als unbedenklich.

Jost-Brinkmann et al. [12] untersuchten das Risiko transitorischer Bakteriämien nach einer PWS-Anwendung [mit NaHCO<sub>3</sub>-Pulver]. Unmittelbar nach PWS-Behandlung konnte bei einem Drittel der Patienten in angelegten Blutkulturen Bakterienwachstum beobachtet werden, wie es auch nach häuslicher Reinigung auftritt. Trotzdem besteht bei gesunden Patienten keine Notwendigkeit zur Endokarditisprophylaxe vor einem PWS-Einsatz, anders jedoch bei Risikopatienten. Da das Zahnoberhäutchen, das die Zähne vor Verfärbungen schützt, durch die Reinigung entfernt wird, sollten die Patienten 2-3 Stunden nach einer PWS-Behandlung auf Rauchen sowie Tee, Kaffee oder andere färbende Lebensmittel zu verzichten [151].

## 4 Zielsetzung der Arbeit

### 4.1 Fragestellungen

Im Hinblick auf die Indikationseinschränkung einer PWS-Anwendung mit Air-Flow Prophylaxis Powder ( $\text{NaHCO}_3$ -Pulver) als Strahlmittel bei Patienten mit freiliegenden Wurzeloberflächen oder mit Initialkaries soll in der vorliegenden Studie durch In-vitro-Experimente geprüft werden, ob das Pulver-Wasser-Strahl-Gerät Air-Flow Handy 2+ (Abb. 5.1) mit Clinpro Prophy Powder als Strahlmittel schonender auf Zahnhartsubstanz wirkt als mit Air-Flow Prophylaxis Powder.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die folgenden Fragen zu beantworten:

- Gibt es relevante Unterschiede zwischen Clinpro Prophy Powder und Air-Flow Prophylaxis Powder hinsichtlich Oberflächenrauheit und Substanzabtrag bei Pulver-Wasser-Bestrahlung von
  - Schmelz,
  - demineralisiertem Schmelz,
  - pulpanahem Dentin,
  - pulpafernem Dentin?
- Wie wirken sich verschiedene Abstände zwischen der Austrittsdüse und der Zahnoberfläche auf die Abrasivität und Oberflächenrauheit aus?
- Gibt es Unterschiede zwischen pulpanahem und -fernem Dentin bezüglich Zahnhartsubstanzverlust und Oberflächenrauheit durch Pulver-Wasser-Bestrahlung?

### 4.2 Hypothese

Clinpro Prophy Powder ist als Strahlmittel bei einer Pulver-Wasser-Bestrahlung der Schmelz- und Dentinoberflächen sowie Initialkaries hinsichtlich Rauheit und Zahnhartsubstanzabtrag schonender als Air-Flow Prophylaxis Powder.

## 5 Materialien und Methoden

Bezugsquellen und genaue Bezeichnungen der erwähnten Geräte und Materialien sind im Anhang in der Materialliste (Kapitel 10.1) aufgeführt.

### 5.1 Verwendetes Pulver-Wasser-Strahlgerät (PWS)

Im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurde ein Air-Flow Handy 2+<sup>1</sup> (Abb. 5.1) verwendet. Es kann an den Turbinenanschluss aller gängigen Behandlungseinheiten angeschlossen werden.



Abb. 5.1: Pulver-Wasser-Strahlgerät Air-Flow Handy 2+

Als Strahlmittel wurden 2 Pulverarten verwendet:

Air-Flow Prophylaxis Powder<sup>2</sup> (Abb. 5.2a) besteht vorwiegend aus  $\text{NaHCO}_3$ -Partikeln.

Clinpro Prophy Powder<sup>3</sup> (Abb. 5.2b) enthält über 99 % Glycin. "Glycin ist eine natürlich vorkommende Aminosäure und ist Bestandteil der Proteine im menschlichen Körper. Glycin ist wasserlöslich und hat einen nichtsalzigen, angenehmen Geschmack. 90 % der Glycin-Partikel in Clinpro Prophy Powder sind kleiner als  $63 \mu\text{m}$ " [17].



Abb. 5.2a: Air-Flow Prophylaxis Powder



Abb. 5.2b Clinpro Proply Powder

## 5.2 Untersuchungen zur Oberflächenveränderung von Rinderschmelz, -dentin und artifiziell induzierter Initialkaries durch PWS

Die Experimente zu Oberflächenveränderungen von Zahnhartsubstanzen durch PWS erfolgten im Vergleich zu den Wirkungen zweier Prophylaxepasten. Dazu wurden Rinderzähne eingebettet, planpoliert und danach bestrahlt beziehungsweise mit Prophylaxepasten bearbeitet. Anschließend wurden die resultierenden Oberflächenveränderungen gemessen und mittels statistischer Tests verglichen.

### 5.2.1 Prüfkörperherstellung

Für die Untersuchungen wurden bleibende Unterkiefer-Schneidezähne frisch geschlachteter Rinder verwendet. Um Schmelzbeschädigungen und -risse zu vermeiden, wurden die Zähne nicht extrahiert, sondern mit einer Lindemann-Fräse<sup>4</sup> in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze abgetrennt. Zur einfacheren Entfernung der Pulpa und zum sicheren Halt bei der nachfolgenden Einbettung in der Einbettmasse

wurden mit einem Diamantschleifer<sup>5</sup> 3 bis 5 mm lange Rillen an den Mesial- und Distalflächen der Kronen eingeschliffen. Danach wurden die Rinderzähne in einer schnellhärtenden Zweikomponenten-Polyurethangießmasse<sup>6</sup> eingebettet. Zur Erhöhung der Dimensionsstabilität und Minimierung der Temperaturerhöhung während des Abbindens erfolgte das Einbetten unter Zusatz von 175 % keramischem Füllstoff<sup>6</sup>. Die Zähne wurden vor und nach Einbettung in 0,1%iger Thymollösung<sup>7</sup> bei Raumtemperatur gelagert. Um die Rinderzähne so einbetten zu können, dass die labialen Flächen freilagen und etwa waagrecht ausgerichtet waren, wurden jeweils 12 Zähne mit den Labialflächen mittels doppelseitigen Klebebandes auf einer Plexiglasscheibe fixiert. Diese Scheibe wurde dann auf eine Silikonform mit zwölf Vertiefungen, die vorher mit der Einbettmasse gefüllt waren, gelegt. Die Größe der Vertiefungen entsprach der Größe der Prüfkörper (2,45 cm × 3,50 cm × 1,65 cm). Somit befanden sich die Kronen in der Einbettmasse, während ihre Labialflächen herausragten und freilagen. Vorher wurden die Vertiefungen jeweils mit Cil Release Spray<sup>8</sup> isoliert. Nach 30 Minuten Abbindezeit konnten die Prüfkörper leicht aus der Silikonform entnommen werden. Dann wurden die Prüfkörperkanten auf der Labialseite der Zähne mit einer Kunststofffräse gebrochen, um Siliziumkarbidpapiere<sup>9</sup> während des Planschleifens vor Beschädigungen zu schützen. Jeder Prüfkörper bekam dann eine Nummer.

Es wurden Prüfkörper von folgenden Zahnhartsubstanzen hergestellt:

- Schmelz
- demineralisierter Schmelz
- Dentin (pulpanah und -fern)

### 5.2.1.1 Schmelz

Um hochglanzpolierte Schmelzprüfkörper (Abb. 5.3) herzustellen, wurden die Labialflächen der Rinderzähne mit verschiedenen Siliziumkarbidpapier parallel zur Prüfkörperunterseite plangeschliffen und poliert. Dies erfolgte auf einer Tellerschleifmaschine<sup>10</sup> mit einer rotierenden Probenhalterung<sup>11</sup>, die eigentlich für runde Prüfkörper gedacht ist. Um auch rechteckige Proben parallel zu Prüfkörperunterseiten polieren zu können, wurde das Gerät durch eine runde Plexiglasscheibe ergänzt, an deren Unterseite je 7 Prüfkörper mit doppelseitigem Klebeband befestigt werden konnten [13].

Während der Politur mit der Schleifmaschine wurden die 7 Prüfkörper gemeinsam mit 19,8 N belastet. Dabei wurden Siliziumkarbidpapier in aufsteigender Körnung unter reichlicher Wasserkühlung verwendet. Die Prüfkörper wurden an der Unterseite der Plexiglasscheibe so aufgeklebt, dass alle Labialflächen mit Siliziumkarbidpapier Kontakt hatten. Zuerst wurde 220er Siliziumkarbidpapier bei 400 rpm (Rotationen pro Minute) verwendet. Die Labialflächen der Zähne wurden ständig kontrolliert und sobald eine plane Schmelzfläche zu sehen war, die für eine Bestrahlung durch drei Schlitzblenden (vgl. Abb. 5.9) groß genug war, wurde dieser Prüfkörper umgekehrt aufgeklebt, so dass bei der weiteren Bearbeitung, die für die übrigen Prüfkörper nötig war, nur Kunststoff (Unterseite) beschliffen wurde und nicht die Gefahr bestand, Dentin freizulegen. Als der letzte Prüfkörper eine ausreichend große Fläche zur Bestrahlung aufwies, wurden die 7 Prüfkörper nochmals mit der Zahnoberfläche zum Siliziumkarbidpapier hin an der Plexiglasscheibe aufgeklebt und die Zahnflächen bei 200 rpm mit 320er, 500er, 800er, 1200er, 2400er und 4000er Siliziumkarbidpapieren in aufsteigender Körnung jeweils für 5 Minuten poliert.

Die Prüfkörper, bei denen Dentin freilag, wurden zur Herstellung der Dentinprüfkörper verwendet und außerdem jene, bei denen nach der Bearbeitung Schmelzrisse bestanden. Bei der Auswahl der Zähne wurden diejenigen, die sich hinsichtlich Morphologie und Größe von den meisten Zähnen unterschieden, nicht verwendet.



Abb. 5.3: hochglanzpolierter Schmelzprüfkörper eingebettet in einer schnellhärtenden Zweikomponenten-Polyurethangießmasse

### 5.2.1.2 Demineralisierter Schmelz (Initialkaries)

Zur Herstellung der Schmelzprüfkörper mit demineralisierten Flächen wurde ein Teil der hochglanzpolierten Schmelzprüfkörper in einem In-vitro-Kariesmodell bearbeitet.

#### 5.2.1.2.1 Aufbau des In-vitro-Kariesmodells

Das In-vitro-Kariesmodell (Abb. 5.4) von Seemann et al. [152] besteht aus folgenden Teilen:

- einer Reaktionskammer (Abb. 5.5a), in der Zähne einem kariösem Milieu ausgesetzt werden,
- einem Isolator zur bakteriendichten Isolierung der Reaktionskammer,
- Schlauchpumpen (Abb. 5.5b),
- einer Hauptschleuse mit einem Durchmesser von 43,5 cm,
- einer Nebenschleuse mit einem Durchmesser von 9 cm,
- einem Heizröhrensystem und
- einem Abfallbehälter (15 Liter).

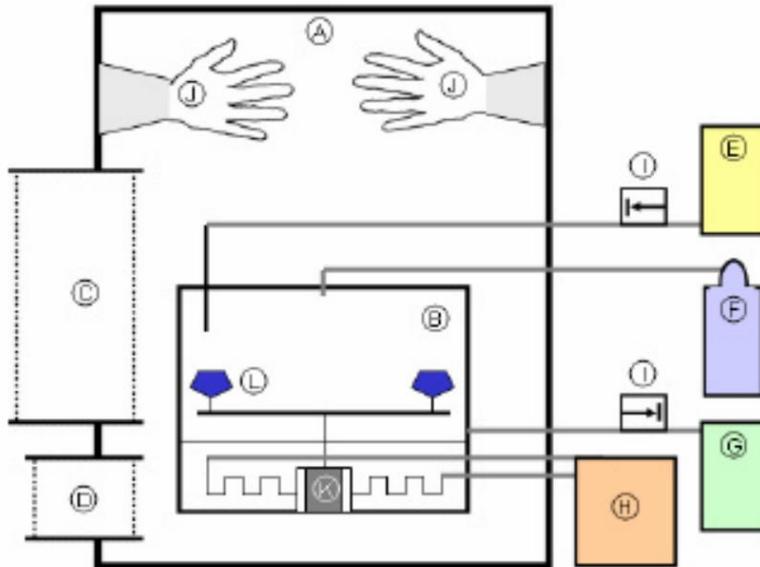


Abb. 5.4: Schematische Darstellung des In-vitro-Kariesmodells (Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Herrn Prof. Seemann)

Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus: A = steriler Bereich innerhalb des Isolators; B = Reaktionskammer; C = Hauptschleuse für den initialen Transfer aller Materialien; D = Nebenschleuse für den Transfer kleinerer Gegenstände während des laufenden Versuches; E = flüssige Medien; F = synthetische Luft; G = Abfallcontainer; H = Wasserthermostat und Heizröhrensystem zur Temperierung der Reaktionskammer; I = Schlauchpumpen; J = Handschuheingriffe für das Arbeiten innerhalb des Isolators; K = Schrittmotor; L = auf Probenrad montierte Zahnproben passieren Tropfspitzen, die alle erforderlichen flüssigen Medien fördern [152].



Abb. 5.5a: Reaktionskammer



Abb. 5.5b: Medien und ihre Pumpen (Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Frau Dr. Franziska Frangenberg (Schneider))

Die Versorgung der Zahnproben mit Flüssigkeiten und Keimen erfolgt durch die Nebenschleuse ( $\varnothing$  9 cm). Dadurch ist es möglich, die Reaktionskammer während eines Versuches kontrolliert mit *Streptococcus mutans* zu kontaminieren und dem Isolator die notwendigen Flüssigkeiten zur Kariesbildung zuzuführen. Die Flüssigkeiten werden durch einen Abfluss im Boden der Reaktionskammer in einem Abfallbehälter gesammelt.

Alle notwendigen Materialien werden durch die Hauptschleuse in den Isolator eingeschleust.

Ein wasserführendes Heizsystem befindet sich im Boden der Reaktionskammer und besteht aus einem spiralförmigen Kupferrohr. In der Reaktionskammer befindet sich ein Thermometer. Durch dieses System wird die Inkubationstemperatur zwischen 34 °C und 35 °C konstant gehalten.

Das Probenrad wird durch einen im Deckel der Reaktionskammer eingebauten Motor gedreht [152].

#### **5.2.1.2.1.1 Medien**

Folgende Medien als Flüssigkeit erreichten die Zahnoberflächen in der in Abbildung 5.6 festgelegten zeitlichen Abfolge:

- Tryptikase-Soja-Bouillon (TSB) jede 15 min für jeweils 2 min
- Saccharose-Lösung (10%ig) jede Stunde für jeweils 2 min
- Minerallösung (künstlicher Speichel) jede 15 min für jeweils 3 min

Die Pumpen arbeiteten computergesteuert und nach einem von Seemann entwickelten Computerprogramm und transportierten die Flüssigkeiten über sterile Infusionsschläuche mit einer Geschwindigkeit von 0,4 ml/min.

Die Tryptikase-Soja-Bouillon fördert das Bakterienwachstum und die Biofilmbildung. Die Saccharose-Lösung war als Substrat für die Bakterien zur Produktion extrazellulärer Polysaccharide notwendig. Die Minerallösung hatte einen pH-Wert von 6,8 und simulierte den remineralisierenden Effekt von Speichel [152].

Die Abfallflüssigkeit wurde in einem 15 Liter fassenden Abfallbehälter gesammelt, die vor Versuchsbeginn mit 3%igem Formaldehyd bei 60 °C sterilisiert wurde.

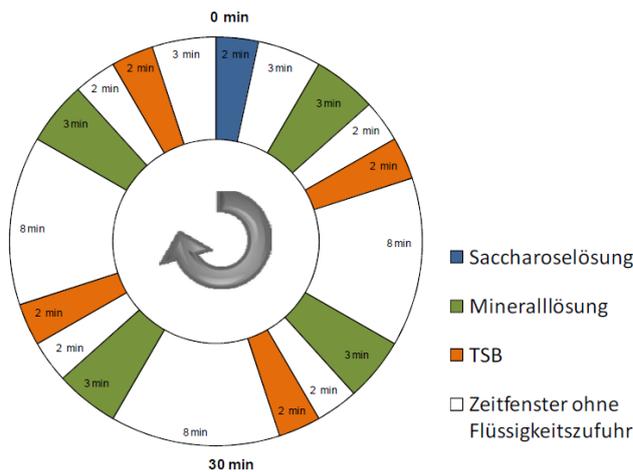


Abb. 5.6: Zeitlicher Ablauf der Computer-gesteuerten Schlauchpumpen zur Ausbildung eines Biofilms und kariesähnlicher Läsionen auf den Zahnproben über einen Zeitraum von 17 Tagen. Dargestellt sind 60 Minuten. (Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Frau Dr. Franziska Frangenberg (Schneider))

#### 5.2.1.2.1.2 Keime

Zur Herstellung der Keime wurde *S. mutans* auf Blut-Agar-Platten vorkultiviert. Einzelne Kolonien wurden in einem Tryptikase-Soja-Bouillon-Medium unter anaeroben Bedingungen bei 37 °C inkubiert und am 1. Und 8. Versuchstag wurden jeweils 20 ml von dieser Suspension zur kontrollierten Kontamination der Reaktionskammer verwendet [152].

#### 5.2.1.2.2 Sterilisation der Proben

Da der vorhandene Platz auf dem Probenrad begrenzt war, wurden die seitlichen Ränder der Prüfkörper so weit wie möglich beschliffen. Die Prüfkörper wurden an der Unterseite jeweils mit zwei Pins zur späteren Befestigung auf dem Probenrad versehen. Die Prüfkörper wurden bei 55 °C mit Ethylendioxid gassterilisiert. Die Zähne befanden sich dabei in einer mit feuchtem Schaumstoff beschickten Tupperware-Dose, damit einer Austrocknung vorgebeugt wird. Danach wurde die Dose mit geöffnetem Deckel in Sterilisationsfolie eingeschweißt. Nach der Sterilisation wurde der Deckel innerhalb der Folie geschlossen und so in den Isolator eingeschleust [152].

### **5.2.1.2.3 Erzeugung kariöser Läsionen**

Bei einem Teil der Schmelzprüfkörper wurde für 17 Tage durch das in Kapitel 5.2.1.2.1 beschriebene In-vitro-Kariesmodell Demineralisation (Initialkaries) erzeugt. Die gesamte Reaktionskammer wurde inklusive Motor in eine Sterilisationstüte verpackt und vor Versuchsbeginn bei 60 °C mit 3%igem Formaldehyd sterilisiert. Alle Materialien, die vorher in Sterilisationsfolien eingeschweißt und entsprechend sterilisiert wurden, wurden über die Hauptschleuse in den Isolator transportiert.

Der Innenraum des Isolators wurde dann mit 5%igen Peroxyessigsäure für 20 Minuten sterilisiert und anschließend dicht verschlossen. Die Apparatur wurde dann im Isolator über Handschuheingriffe aufgebaut. Die mit 2 Pins versehenen Prüfkörper wurden dann im Isolator aus der Tupperware-Dose herausgenommen und auf dem Probenrad befestigt. Die Zähne wurden dann mit den Medien (siehe Kap. 5.2.1.2.1.1) und in der in Abbildung 5.6 festgelegten zeitlichen Abfolge versorgt. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Probenrades wurde auf 2 U/min und die Fördermenge der Schlauchpumpen auf 0,4 ml/min eingestellt. Die Temperatur im Isolator wurde zwischen 34 °C und 35 °C konstant gehalten. Die Zahnproben wurden am 1. Und 8. Versuchstag jeweils mit der im Kapitel 5.2.1.2.1.2 beschriebenen Keimsuspension infiziert [152].

Am 17. Versuchstag wurden alle Zahnproben herausgenommen und der Biofilm wurde vorsichtig mit einer weichen Zahnbürste und Mullgaze gereinigt und mit reichlich Alkohol desinfiziert und in Thymollösung gelagert. Alles, was entsorgt werden musste, wurde vorher aufgrund der starken bakteriellen Kontamination sterilisiert. Auch die gesamte Reaktionskammer wurde nach dem Versuch bei 60 °C und mit 3%igem Formaldehyd sterilisiert.

### **5.2.1.3 Dentin**

Zur Herstellung der Dentinprüfkörper (pulpanah und -fern) musste das Schleifen parallel zur Grenzlinie zwischen Dentin und Pulpa erfolgen, damit der Abstand der geschliffenen Dentinoberfläche zur Pulpa an jeder beliebigen Stelle annähernd gleich

war. Zur Visualisierung von Dentin und Pulpa wurde jeder Prüfkörper seitlich geröntgt. Auf dem Röntgenbild wurde der Winkel zwischen der Dentin-Pulpa-Grenzlinie und der Unterseite gemessen und auf die Prüfkörper übertragen. Anschließend wurde die Unter- (Kunststoffseite) und auch Oberseite (mit freiliegender Labialfläche) der Prüfkörper (rot schraffierte Flächen in Abb. 5.7) auf der Schleifmaschine parallel zur Dentin-Pulpa-Grenzlinie mit 220er Siliziumkarbidpapier bei 400 rpm beschliffen.

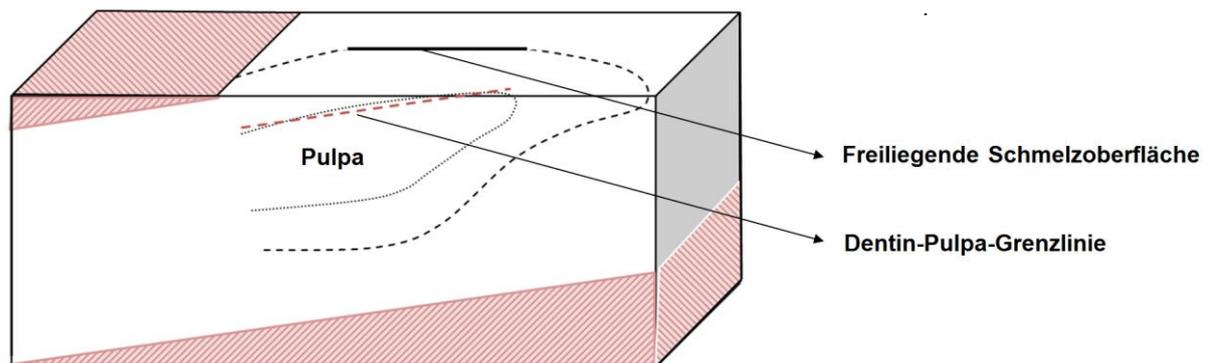


Abb. 5.7: Parallelisierung der Ober- und Unterseiten der Prüfkörper zur Pulpa-Dentin-Grenzlinie auf der Basis eines Röntgenbildes durch Abschleifen der gestrichelten Bereiche

Dabei wurde die Oberseite so weit beschliffen, dass Dentin nur punktförmig freilag. Demzufolge waren die Unter- und Oberseiten der Prüfkörper parallel zur Dentin-Pulpa-Grenzlinie ausgerichtet. So wurde die Schmelz-Dentin-Grenze punktförmig erreicht. Danach wurden die Prüfkörper mit Hilfe einer Vorrichtung (Abb. 5.8) weiterbearbeitet. Diese Vorrichtung bestand aus einer Plexiglasscheibe (1), die in der Mitte eine Aussparung entsprechend der Dimensionen der Prüfkörper aufwies (2). Oberhalb dieser Aussparung befand sich eine Brücke, deren horizontaler Teil (3) parallel zur Grundfläche (1) ausgerichtet war. Jeder Prüfkörper [mit punktförmig freiliegendem Dentin] wurde dann zuerst mit der Unterseite (Kunststoffseite) zum Schleifpapier hin in die Vorrichtung platziert. Die Dachhöhe (Abstand zwischen (1) und (3)) wurde so eingestellt, dass nach dem Platzieren jedes Prüfkörpers ein Stück

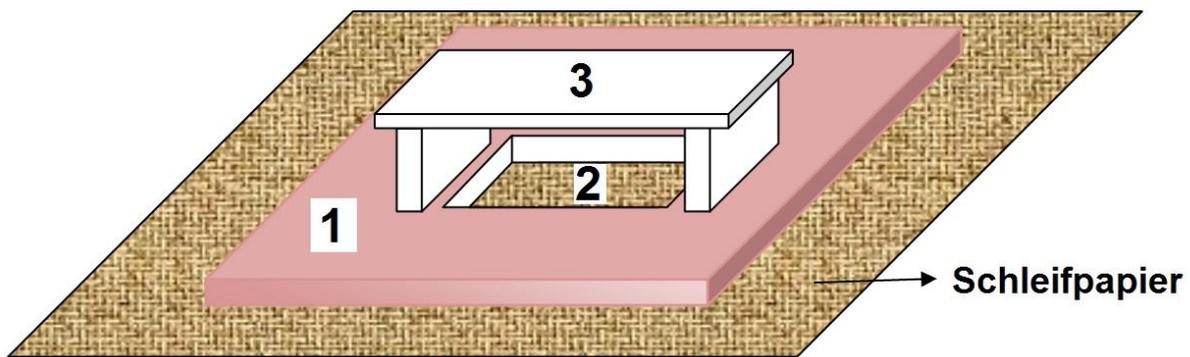


Abb. 5.8: Vorrichtung aus Plexiglas zur Dentinprüfkörperherstellung

1 = Grundfläche

2 = Aussparung zur Platzierung der Prüfkörper

3 = parallel zum Boden ausgerichtetes Dach

von der Prüfkörperunterseite aus der Aussparung (2) herausragte. Dann wurde die Unterseite (Kunststofffläche) jedes Prüfkörpers mit Hilfe der Vorrichtung so weit beschliffen, dass die Plexiglasscheibe mit dem Siliziumkarbidpapier in Kontakt kam. Die Höhe beziehungsweise Dicke der Prüfkörper waren danach gleich hoch wie die Gehäusehöhe.

Zur Herstellung der Prüfkörper mit pulpaferem Dentin wurden weitere 0,6 mm Dentin abgetragen und anschließend hochglanzpoliert.

Damit das Ausmaß des Dentinabtrags in Richtung Pulpa einheitlich gleich blieb, wurden entsprechend Abstandshalter zwischen (3) und die Prüfkörper gelegt. Dafür wurden Tiefziehfolien<sup>12</sup> in verschiedenen Dicken (Erkodur 0,5 mm, 0,6 mm und 0,8 mm) verwendet.

Die punktförmig freiliegende Dentinflächen wurden dann zuerst 0,5 mm mit 320er Siliziumkarbid-Papier runtergeschliffen (Tiefziehfolie von 0,5 mm als Abstandshalter zwischen dem Dach (3) und dem Prüfkörper). Zur Feinpolitur wurden Siliziumkarbidpapiere der Körnungen 500, 1200 und 4000 nacheinander für jeweils 5 min verwendet, wobei diesmal die Tiefziehfolie von 0,5 mm herausgenommen und eine 0,6 mm dicke Tiefziehfolie als Abstandshalter verwendet wurde. Das heisst, das Dentin wurde im Rahmen der nachfolgenden Politur weitere 0,1 mm abgetragen. Die Geschwindigkeit betrug dabei jeweils 200 rpm. Die hochglanzpolierten Dentinprüfkörper waren dann alle gleich hoch (Gehäusehöhe - 0,6 mm).

Nach Pulver-Wasser-Bestrahlung beziehungsweise Politur mit Prophylaxepasten und profilometrischer Vermessung der Prüfkörper (pulpafernes Dentin) wurden dieselben Prüfkörper zur Herstellung pulpanahen Dentins noch weitere 0,8 mm in Richtung Pulpa und senkrecht zur Dentin-Pulpa-Grenzlinie beschliffen und hochglanzpoliert. Zuerst wurden die Prüfkörper mit der Dentinoberfläche zur Schleifmaschine hin weitere 0,7 mm (Abstandshalter 1,3 mm dick) mit 320er Siliziumkarbid-Papier runtergeschliffen. Bei der Feinpolitur wurden Siliziumkarbidpapiere der Körnungen 500, 1200 und 4000 nacheinander für jeweils 5 min verwendet, wobei die Abstandshalterdicke 1,4 mm betrug. Dabei blieben die Ober- und Unterseiten der Prüfkörper immer parallel zur Dentin-Pulpa-Grenzlinie.

### 5.2.2 Bestrahlung der Prüfkörper

Zum Bestrahlen der Rinderzähne wurde eine dafür hergestellte Halterung<sup>13</sup> (Abb. 5.9) verwendet. Sie weist vier Schlitze (7 mm x 2 mm) auf, von denen nur drei (in Abb. 5.9 gestrichelte Schlitze) bei den Untersuchungen verwendet wurden, so dass pro Zahn drei Oberflächen in der Größe von jeweils 7 mm x 2 mm bearbeitet werden konnten.

Um sicherzustellen, dass beim Bearbeiten immer nur ein Areal freilag, wurde eine verschiebbare Schlitzblende verwendet (Abb. 5.10). Durch die mit "S" bezeichneten Schlitze in Abbildung 5.9 kann durch Verschieben der Schlitzblende jeweils nur ein Areal von 2 mm x 7 mm bestrahlt werden.

Durch zwei Löcher (R) neben den Bearbeitungsschlitzten wurden mit wasserfestem Stift Punktmarkierungen auf dem in die Prüfkörperhalterung eingespannten Prüfkörper angebracht. Diese Punkte wurden nach dem Ausspannen des Prüfkörpers mit einem kleinen Diamantbohrer<sup>14</sup> vertieft. Sie dienten später als Referenzpunkte für die Positionierung der Prüfkörper beim Bestrahlen und bei den profilometrischen Messungen.

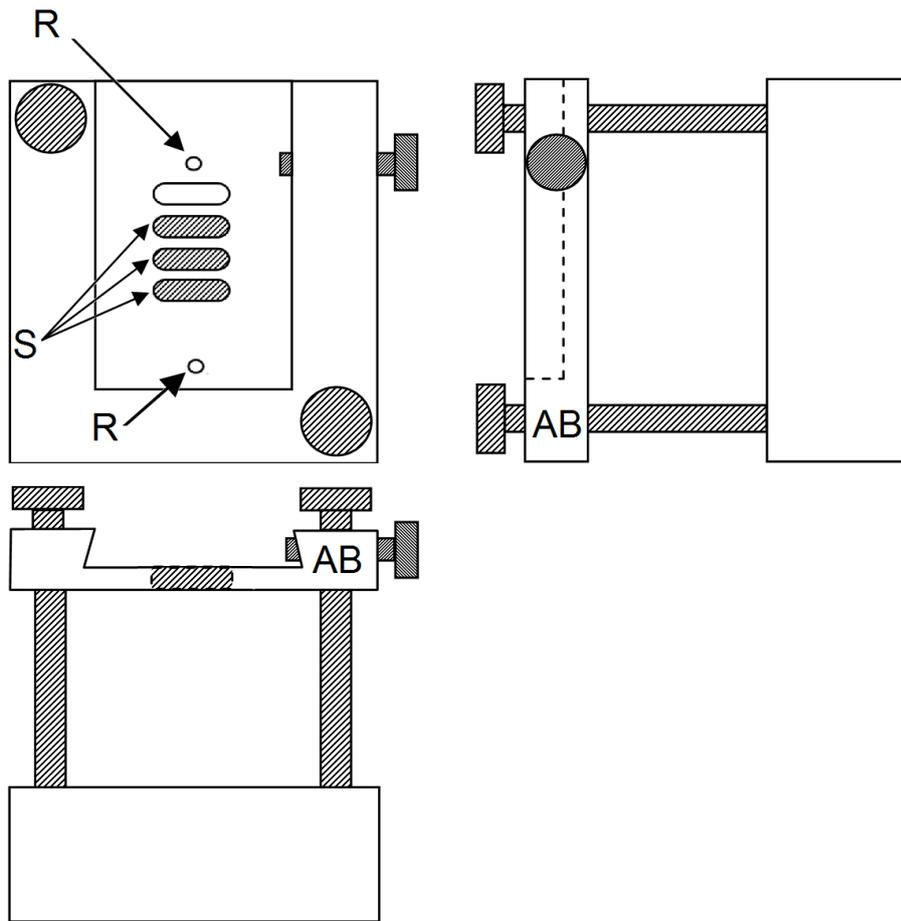


Abb. 5.9: Prüfkörperhalterung mit Schlitzen (S) und zwei Bohrungen zum Anbringen von Referenzpunkten (R) zum Bestrahlen eingebetteter und plangeschliffener Rinderzähne  
 AB: Abdeckplatte mit Schlitzen (S)

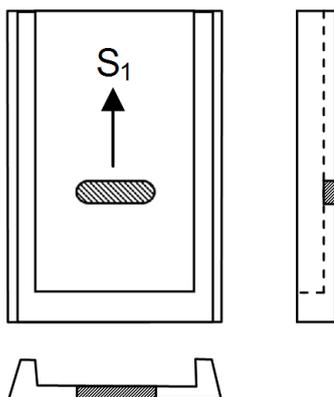


Abb. 5.10: Verschiebbliche Messingblende, die sicherstellt, dass jeweils nur eine Zahnfläche bestrahlt wird; durch den Schlitz  $S_1$  bleibt nur eine Fläche frei und die anderen Schlitze (S) werden abgedeckt.

Mit Hilfe einer zweiteiligen Vorrichtung (Abb. 5.11) wurde sichergestellt, dass zu bearbeitende Zahnoberflächen parallel zur Tischebene lagen und unabhängig von der Höhe der Prüfkörper den gleichen Abstand von der Arbeitsfläche aufwiesen. Dabei kam die Prüfkörperhalterung mit der oberen Fläche (Abb. 5.9, "AB") auf den beiden seitlichen Fortsätzen der beschriebenen Vorrichtung zum Liegen (Abb. 5.11, "1"), die mit Hilfe einer Wasserwaage gleich hoch und parallel zur Tischebene ausgerichtet waren. Damit die Prüfkörperhalterung platziert werden konnte, musste die Vorrichtung aus 2 trennbaren Teilen bestehen. Die Vorrichtung wurde aus Gips hergestellt und zur besseren Ausrichtung der Flächen mit Silikon überzogen.

Mit Hilfe einer weiteren Vorrichtung aus Gips und Silikon (Abb. 5.12) wurde das Pulver-Wasser-Strahlgerät so aufgestellt, dass die Austrittsdüse senkrecht nach unten stand und der Abstand der Austrittsdüse von der Zahnoberfläche ohne Abstandshalter (Abb. 5.13) genau 5 mm betrug. So wurde sichergestellt, dass der Pulver-Wasser-Strahl im 90° Winkel auf die Zahnoberfläche traf. Vor dem Beginn jeder Versuchsserie wurde der 5 mm Abstand zwischen der Austrittsdüse und der Zahnoberfläche (wenn kein Plexiglasabstandshalter verwendet wurde) kontrolliert und gegebenenfalls justiert. Die Pulver-Wasser-Bestrahlung mit dem Air-Flow-Handy 2+ erfolgte bei maximaler Wassereinstellung. Es wurden 3 Abstände von der Austrittsdüse zur Zahnoberfläche festgelegt (1, 3 und 5 mm). Plexiglasabstandshalter (Abb. 5.13 und Abb. 5.11, "2") von Dicken 2 und 4 mm Dicke wurden zwischen der Prüfkörperhalterung und dem Fortsatz der zweiteiligen Vorrichtung (Abb. 5.11) auf jeder Seite eingesetzt, um die Abstände von 3 mm beziehungsweise 1 mm einzustellen. Die Abstandshalter waren entsprechend der Form der Liegeflächen (Abb. 5.11, "1") zurechtgeschliffen.

Um die Pulverpartikel nicht im ganzen Raum zu verblasen, erfolgten die Bestrahlungen in einem großen Gefäß aus Plexiglas. Die zweiteilige Vorrichtung (samt Prüfkörperhalterung) wurde durch zwei seitliche Öffnungen manuell unter Sichtkontrolle gleichmäßig unter der Austrittsdüse hin- und herbewegt.

Die Strahldauer betrug bei Schmelz und Dentin 60 s und bei demineralisiertem Schmelz 5 s. Die Bestrahlung wurde nach 30 Sekunden unterbrochen und der Pulverbehälter des Air-Flow-Handy 2+ wurde dann wieder (wie auch vor Beginn der Bestrahlung) auf die markierte maximale Füllhöhe mit Pulver aufgefüllt.

In jeder Gruppe wurden 10 Oberflächen bestrahlt. Durch Bestrahlung jedes Prüfkörpers entstanden 3 parallel ausgerichtete bearbeitete Zahnflächen.

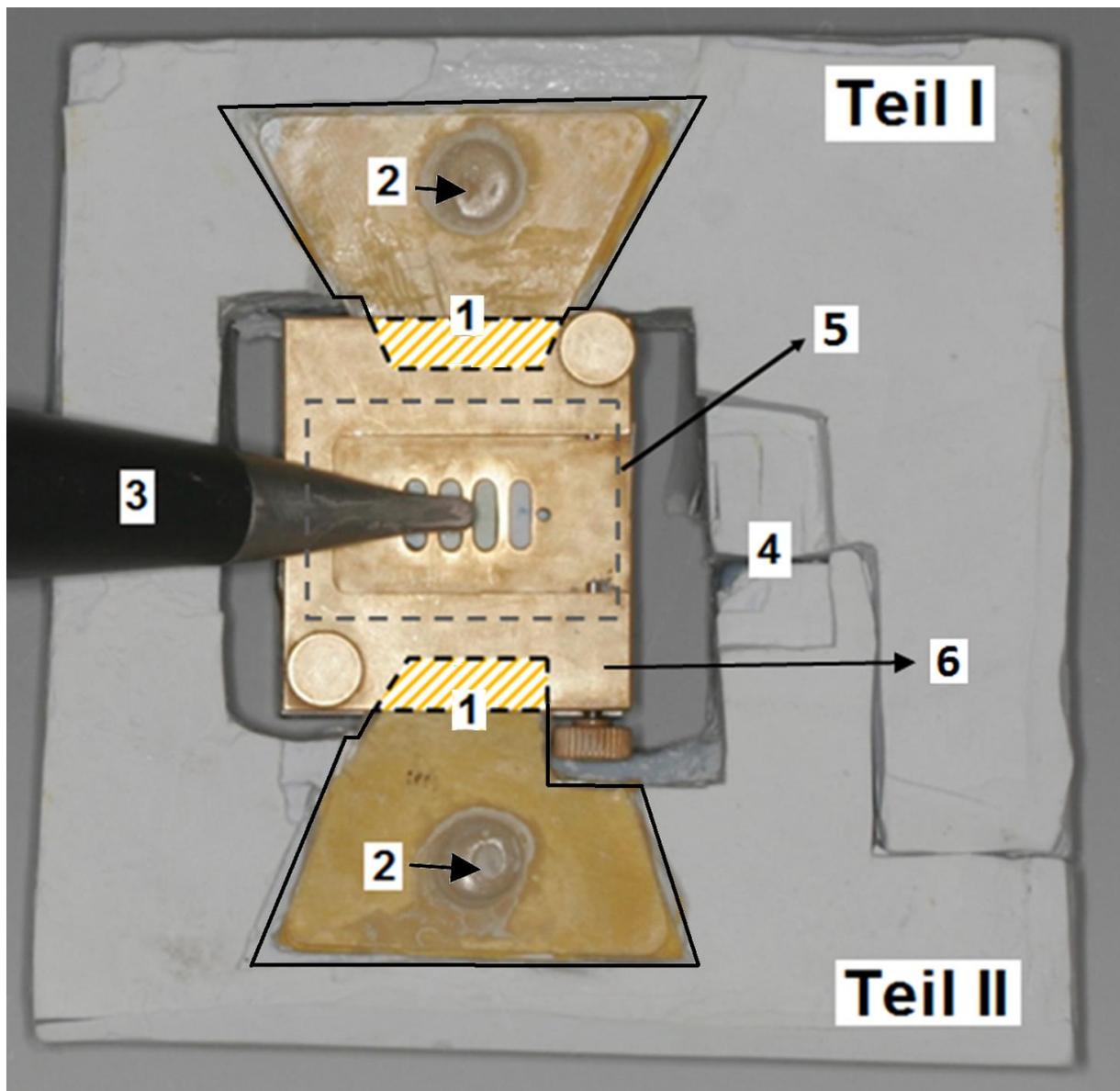


Abb. 5.11: Zweiteilige Vorrichtung mit den seitlichen Fortsätzen (1), auf denen je nach Strahlabstand Abstandshalter (2) und dann die Abdeckplatte (6) (AB in Abb. 5.9) lagen, um die Zahnoberfläche stets in derselben vertikalen Position einzustellen.

1. seitliche Fortsätze (Liegeflächen der zweiteiligen Vorrichtung aus Gips und Silikon)
2. Abstandshalter (zwischen (1) und (6) entsprechend Liegeflächenform zurechtgeschliffen)
3. Air-Flow Handy 2+
4. Aussparung für die verschiebliche Messingblende
5. Prüfkörper
6. Abdeckplatte der Prüfkörperhalterung (= AB in Abb. 5.9)

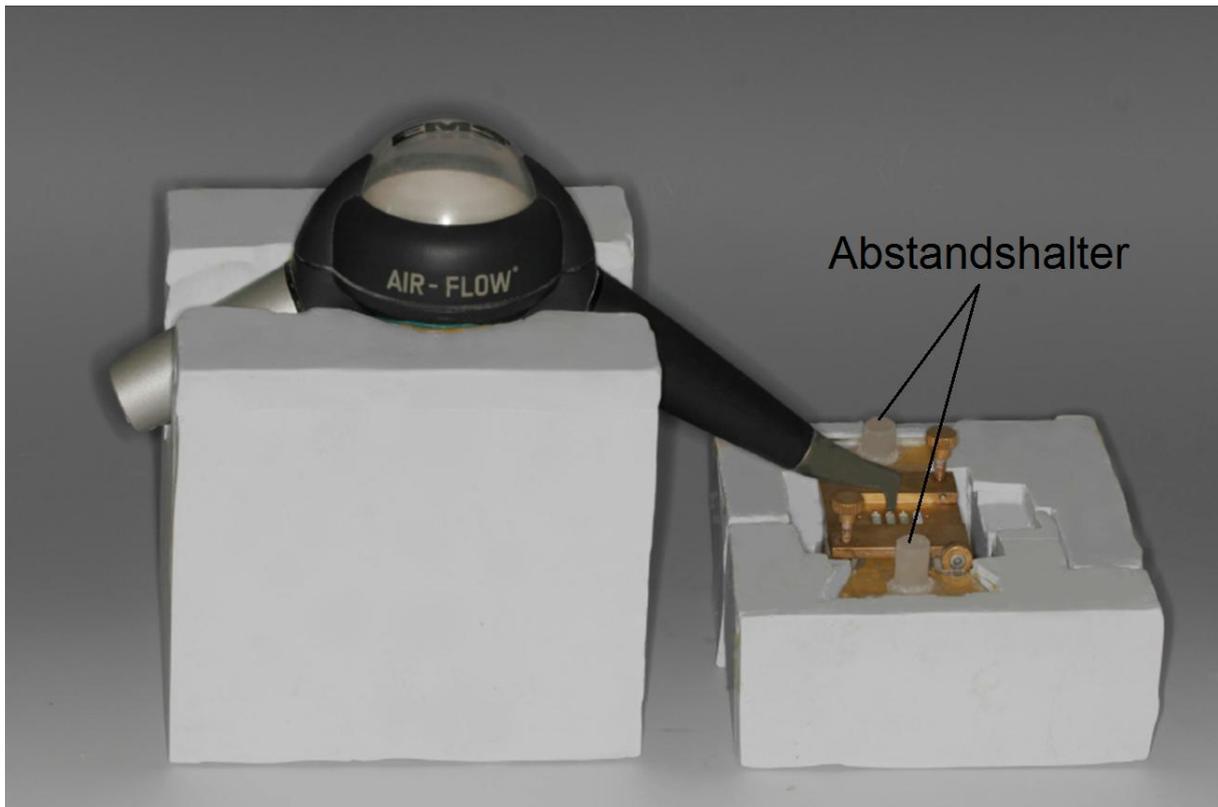


Abb. 5.12: Halterung für das Air-Flow Handy 2+ und die Vorrichtung aus Abbildung 5.11

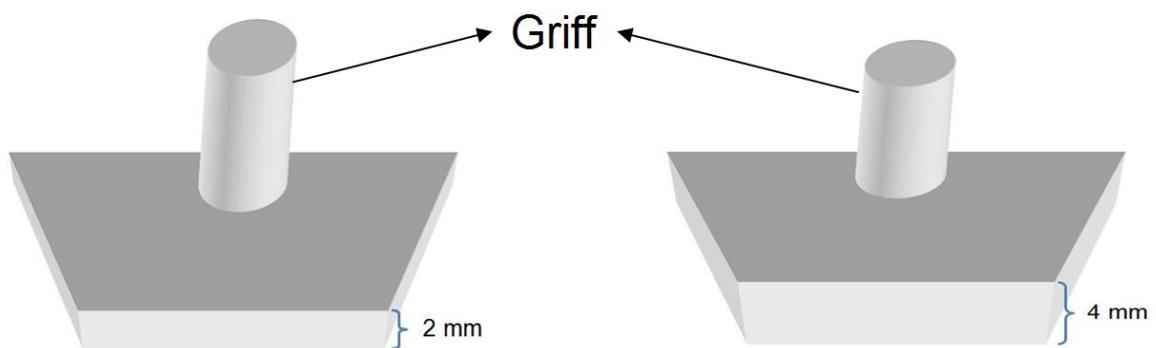


Abb. 5.13: Plexiglas-Abstandshalter zur Einstellung verschiedener Abstände (vgl. Abb. 5.12)

Bestrahlungskonditionen (Pulver/Strahlabstand oder Paste) wurden für jede Fläche per Zufall festgelegt (Abb. 5.14 und Abb. 5.15). Bei jedem Zahn (Prüfkörper) waren 3 Flächen zu bearbeiten. Dabei wurden folgende Gruppen gebildet:

- 1-Schmelz (PWS): 60 Flächen
- 2-pulpafernes Dentin (PWS): 30 Flächen
- 3-pulpanahes Dentin (PWS): 30 Flächen
- 4-Schmelz (Politur): 20 Flächen
- 5-pulpafernes Dentin (Politur): 20 Flächen
- 6-demineralisierter Schmelz (PWS): 20 Flächen

In den Gruppen 1-3 wurde jeder Fläche ein Strahlabstand (1, 3 oder 5 mm) und ein Strahlpulver (Clinpro Prophy powder oder Air-Flow Prophylaxis Powder) per Zufall zugeordnet.

In den Gruppen 4 und 5 wurde jede Fläche per Zufall mit einem der Prophylaxepasten (Cleanic oder SuperPolish) bearbeitet.

In der Gruppe 6 wurde jede Fläche per Zufall entweder mit Clinpro Prophy powder oder mit Air-Flow Prophylaxis Powder aus 5 mm Abstand für 5 s bestrahlt.



Abb. 5.14: Schmelzprüfkörper nach Bestrahlung mittels  $\text{NaHCO}_3$



Abb. 5.15: Dentinprüfkörper nach Bestrahlung mittels  $\text{NaHCO}_3$

### 5.2.3 Bearbeitung mit Prophylaxepasten

Da die Zahnreinigung und die Entfernung von Belägen und Biofilm mit Hilfe entsprechender Prophylaxepasten seit Jahren in der Zahnmedizin etabliert und anerkannt ist, wurden die mit dieser Methode gewonnenen Werte als Vergleich herangezogen.

Die Politur der Zahnoberflächen erfolgte mit den Prophylaxepasten Cleanic<sup>15</sup> und SuperPolish<sup>16</sup> mittels Gummipolierern<sup>17</sup> in spitzer Ausführung. Dazu wurde ein grünes Winkelstück bei langsamer Drehzahl (Einstellung 2) an Sirodont/Sirona 4000S<sup>18</sup> verwendet. Die Behandlung dauerte ebenfalls 60 s pro Fläche. Für jede Fläche wurde 0,1 g Paste verwendet, davon 0,05 g in den ersten 30 s und die restlichen 0,05 g in den zweiten 30 s. Nach drei Poliervorgängen wurde die Gummispitze gegen eine neue ausgetauscht. Pro Paste/Zahnhartsubstanz-Kombination wurden 10 Flächen auf verschiedenen Prüfkörpern mit Hilfe der oben beschriebenen Prüfkörperhalterung bearbeitet.

### 5.2.4 Oberflächenmessungen

Die bearbeiteten und mit Siliziumkarbidscheiben planpolierten Zahnoberflächen (Schmelz, demineralisierter Schmelz, Dentin) wurden zur Bestimmung der Rauheit und des Materialabtrages mit einem Perthometer S6P<sup>19</sup> in Kombination mit der Vorschubeinheit PRK<sup>20</sup> (Abb. 5.17) mechanisch abgetastet. Alle Messungen erfolgten mit dem Bezugsflächentaster FRW 750<sup>21</sup> mit einem Tastarm für Mikromessungen. Die Spitze des pyramidenförmigen Mikrotasters hatte eine Dicke von 10 µm.

Um vergleichbare Messungen zu erhalten, wurden die Prüfkörper stets in der gleichen Richtung und im gleichen Bereich der Prüfkörper abgetastet. Je Fläche (2 mm x 7 mm) wurde an 3 Stellen (Mitte, 2 mm rechts und 2 mm links von der Mitte) linear gemessen und aus diesen 3 Werten wurde ein Mittelwert pro Fläche gebildet. Da bei der Vermessung die bearbeiteten Oberflächen parallel zu Tischebene sein mussten und da die Lage der Zähne innerhalb der Prüfkörper nicht identisch war,

wurde eine Vorrichtung aus Silikon (Abb. 5.16) hergestellt, die in der Rille des Messtisches (Abb. 5.17a) saß.

Die Prüfkörper wurden zwischen 2 Plexiglasscheiben mit einem Gummi fest eingespannt, wobei die obere Plexiglasscheibe in der Mitte eine Aussparung zum Abtasten der Zahnoberflächen aufwies. Die beiden Fortsätze der oberen Plexiglasscheibe ruhten auf 2 seitlichen Auflageflächen der Vorrichtung, die mittels Wasserwaage parallel zur Tischebene ausgerichtet und gleich hoch waren, so dass am Ende die Zahnflächen parallel zur Tischebene lagen. Die obere Plexiglasscheibe hatte innerhalb der Silikon-Vorrichtung einen seitlichen Spielraum von jeweils 2 mm, damit die Mitte und jeweils 2 mm entfernt von der Mitte der Zahnoberflächen vermessen werden konnten. Die Prüfkörper wurden so ausgerichtet, dass die Messfahrstrecke der Abtastspitze auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Referenzpunktvertiefungen der Prüfkörper lag (Abb. 5.18), wenn die beiden seitlichen Spielräume der Plexiglasscheibe mit jeweils einem Platzhalter von 2 mm Dicke gefüllt waren. Somit war eine definierte und wiederholbare Position der Prüfkörper gegenüber dem Taster im Messgerät sichergestellt und die Messung äquivalenter Strecken an verschiedenen Prüfkörpern möglich.

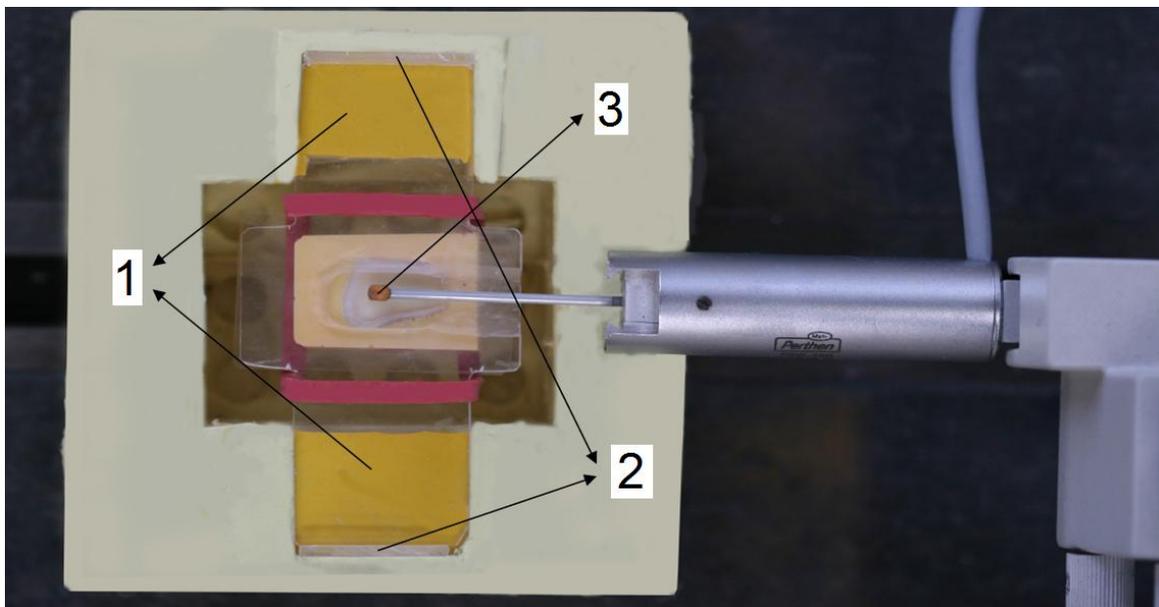
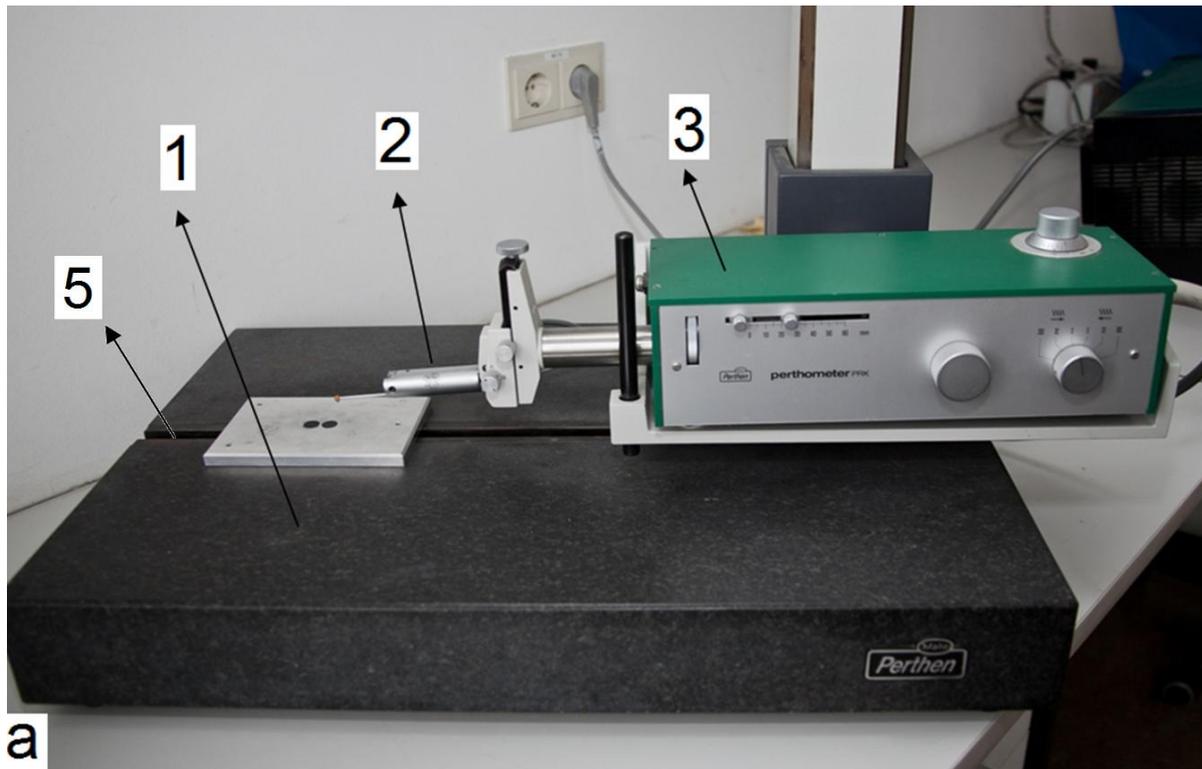
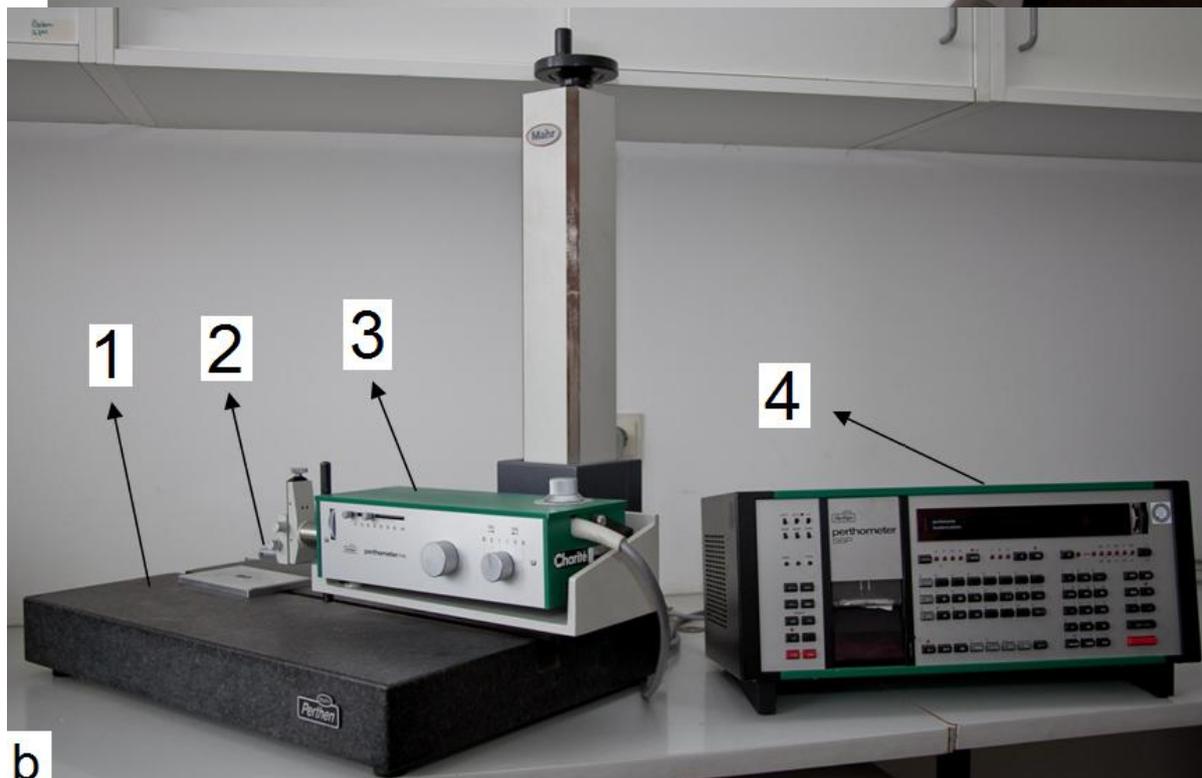


Abb. 5.16: Silikonvorrichtung zur Profilometrie

1. Auf den Silikonflächen (gelb) liegende Fortsätze der oberen Plexiglasscheibe
2. Seitliche Spielräume (2 mm) aufgefüllt mit 2 mm dicken Platzhaltern
3. Mikrotaster



a



b

Abb. 5.17: Perthometer

1. Arbeitstisch

2. Mikrotaster FRW 750

3. Vorschubeinheit PRK

4. Perthometer S6P

5. Rille im Messtisch, in die die Silikonvorrichtung aus Abb. 5.16 eingesetzt war

### 5.2.4.1 Messung der Oberflächenrauheit

Zuerst wurden die Scans zur Bestimmung der Rauheit durchgeführt. Um zu messen, wie rau die Zahnoberflächen sind, wurde die Kenngröße Ra bestimmt.

Der Mittenrauwert Ra nach DIN 4768 ist der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Profilwerte des Rauheitsprofils. Er stellt die mittlere Abweichung des Profils von der mittleren Linie dar [153].

Nachfolgend sind die Geräteeinstellungen für die Bestimmung von Ra zusammengefasst:

Messgrößenschalter:	Ra
Vertikalschalter:	0,5-10 je nach Rauheit (100 $\mu\text{m}/\text{cm}$ )
Taststrecke:	$l_t = 1,5 \text{ mm}$ Grenzwellenlänge $\lambda_c = 0,25 \text{ mm}$ Vorlaufstrecke $l_v = 0,25 \text{ mm}$
Profilschalter:	P
Tastgeschwindigkeit:	$v_t = 0,5 \text{ mm/s}$
PRK-Einstellung:	Vorschub nach rechts

Die Tasterspitze wurde knapp innerhalb der bestrahlten Fläche angesetzt, so dass die Messfahrstrecke in der Mitte der bestrahlten Fläche lag (Abb. 5.18).

### 5.2.4.2 Messung des Zahnhartsubstanzabtrags

Nach der Bestimmung der Rauheitskenngröße Ra erfolgte auf der gleichen Linie ein neues Abtasten aber mit einer längeren Messstrecke von 4,8 mm. Die Vorlaufstrecke betrug hier 0,8 mm. Die Tasterspitze wurde so angesetzt, dass der Anfang und das Ende der Messstrecke in unbestrahlter Zahnfläche lagen (Abb. 5.19). Die folgende Kenngröße wurde bestimmt und ist wie folgt definiert:

Die Wellentiefe  $W_t$  (DIN 4774) ist der senkrechte Abstand zwischen zwei äquidistanten Begrenzungslinien (in Mikrometer) von der Form des geometrisch idealen Profils, die das Welligkeitsprofil innerhalb der Messstrecke kleinstmöglich einschließen [154].

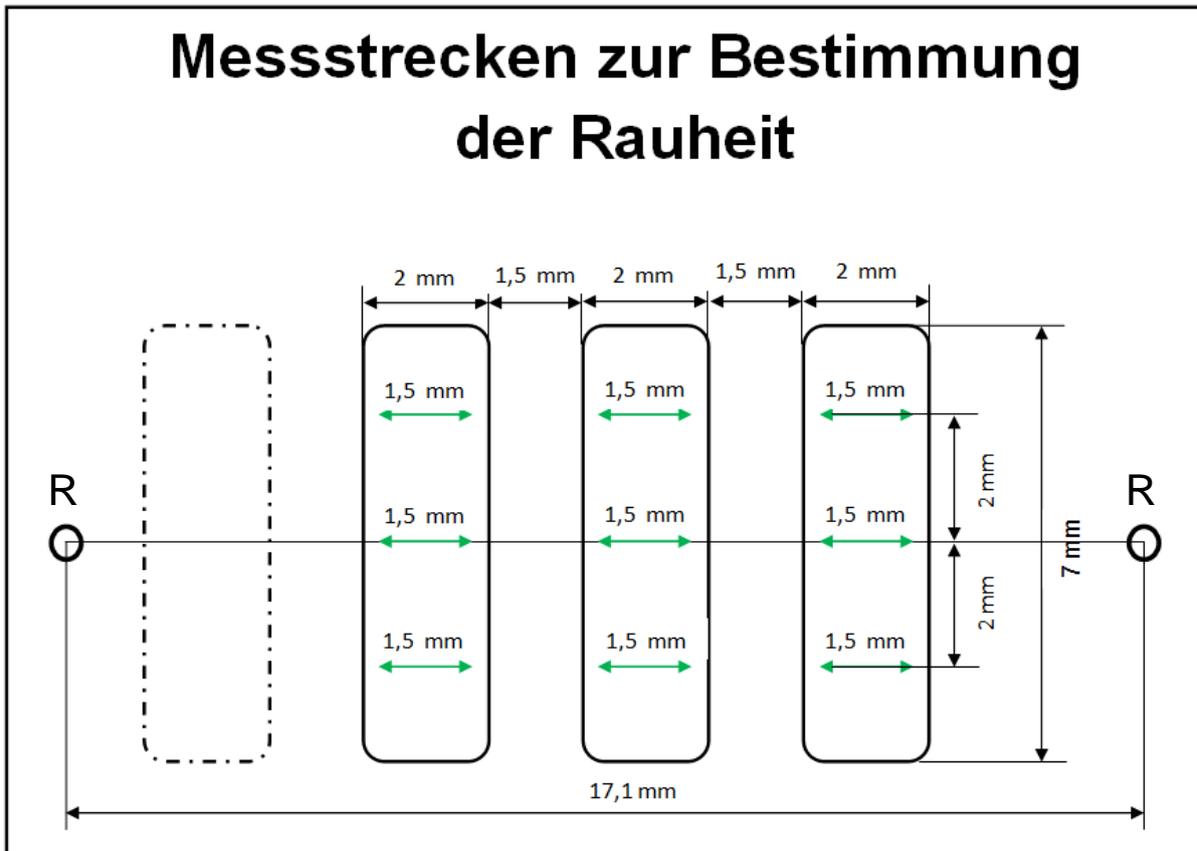


Abb. 5.18: Messstrecken auf den Prüfkörpern von jeweils 1,5 mm Länge (grüne Pfeile) zum Bestimmen der Rauheitskenngröße  $R_a$  im Bereich der drei bestrahlten Areale. Drei parallele Scan-Linien verliefen genau auf der Verbindung der Referenzlöcher und jeweils parallel dazu 2 mm seitlich davon. Aus den drei parallelen Scan-Linien pro Areal wurde jeweils der Mittelwert berechnet.

(R: Referenzlöcher zur Positionierung der Prüfkörper auf dem Messtisch)

Nachfolgend sind die Geräteeinstellungen für die Bestimmung von  $W_t$  zusammengefasst:

Messgrößenschalter:  $W_t$

Vertikalschalter: 0,5-10 je nach Abtragsausmaß (100  $\mu\text{m}/\text{cm}$ )

Taststrecke:  $l_t = 4,8 \text{ mm}$

Grenzwellenlänge  $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$

Vorlaufstrecke  $l_v = 0,8 \text{ mm}$

Profilschalter: P

Tastgeschwindigkeit:  $v_t = 0,5 \text{ mm/s}$

PRK-Einstellung: Vorschub nach rechts

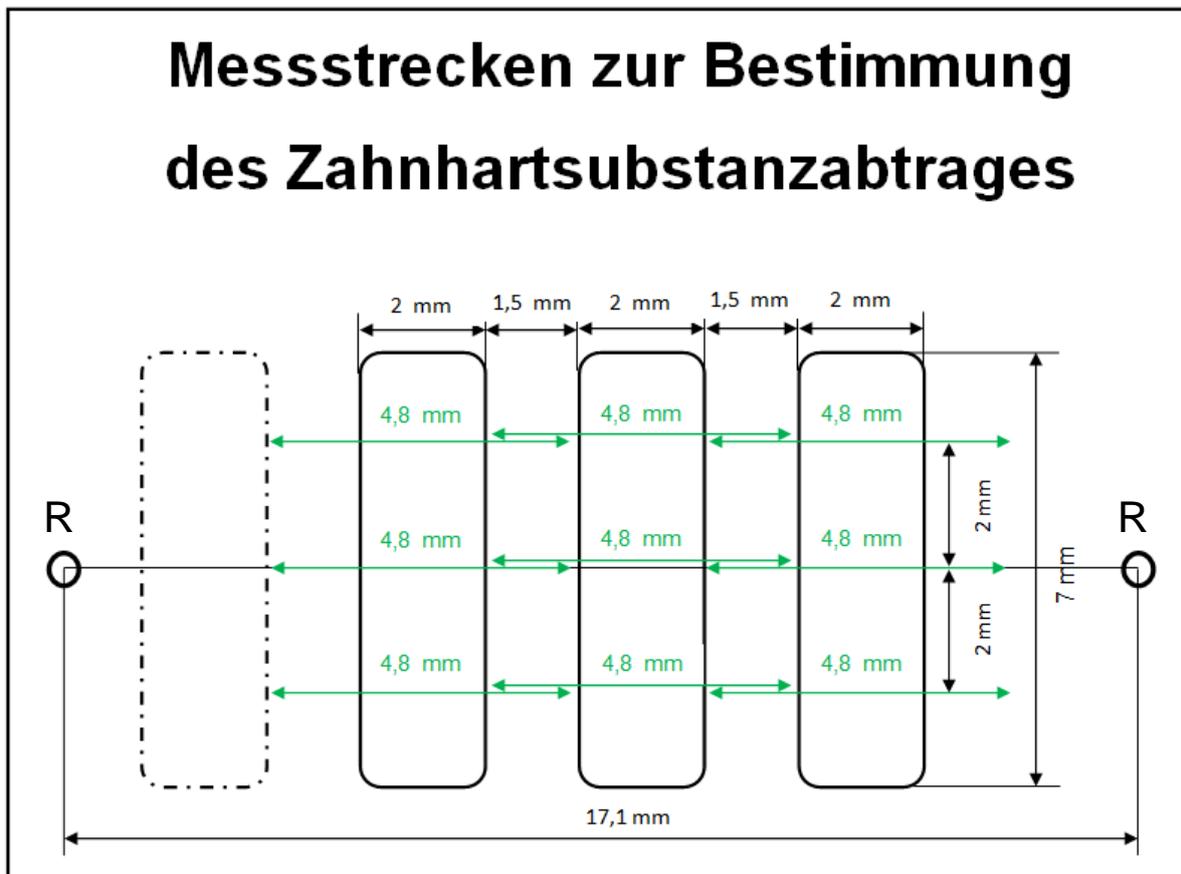


Abb. 5.19: Messstrecken auf den Prüfkörpern von jeweils 4,8 mm Länge zum Bestimmen der Wellentiefe  $W_t$  als Kenngröße für den Zahnhartsubstanzabtrag. Die Messungen erfolgten auf den gleichen Scan-Linien wie die Rauheitsmessungen.

### 5.2.5 Auswertung

Da aufgrund der geringen Anzahl der Proben ( $n = 10$ ) Normalverteilung und Varianzhomogenität nicht zuverlässig nachzuweisen waren, wurden für die vergleichende Statistik nonparametrische Testverfahren verwendet, die keine Normalverteilung voraussetzen:

- Kruskal-Wallis 1-Way ANOVA,
- Mann-Whitney-U-Test

Mit dem Kruskal-Wallis-Test wurde getrennt für die Oberflächenkenngrößen  $R_a$  und  $W_t$  geprüft, ob die Bearbeitung der Zahnoberflächen einen signifikanten Effekt auf die resultierende Rauheit und den Zahnhartsubstanzverlust hat. Bei Signifikanz folgte der Mann-Whitney-U-Test für die Einzelvergleiche. Dabei wurden die Messwerte der

Kontrollgruppen (hochglanzpolierte sowie mit Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish bearbeiteten Schmelz- und Dentinflächen) mit den Resultaten der mit  $\text{NaHCO}_3$  und Clinpro Prophy Powder bei unterschiedlichen Arbeitsabständen bestrahlten Flächen verglichen.

Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 5\%$  festgesetzt. Bei mehrfacher Testung wurde der p-Wert mit dem Bonferroni-Holm-Verfahren adjustiert (multiple Testung).

Die vergleichende Statistik und die grafische Darstellung als Box-Whisker-Plots erfolgten mit SPSS<sup>22</sup> (Abb. 5.20).

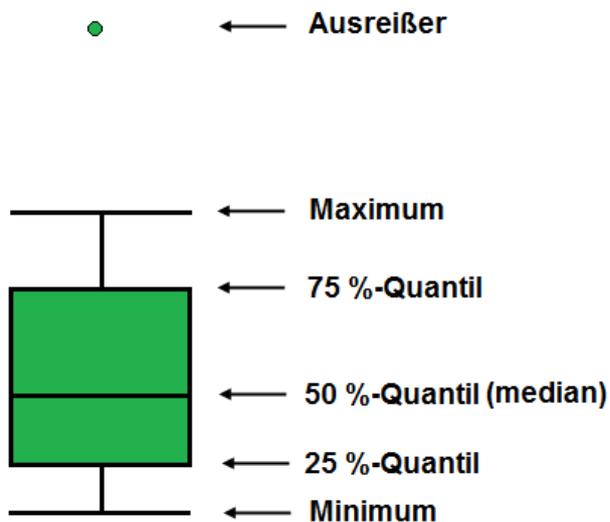


Abb. 5.20: Box-Whisker-Plot

Ein Box-Whisker-Plot zeigt eine grafische Darstellung von Datenverteilung. Der Kasten beinhaltet die mittleren 50 % der Daten. Er wird durch das 25 %- und 75 %-Quantil (auch als 1. und 3. Quartil oder unteres und oberes Quartil bezeichnet) begrenzt. Die Länge des Kastens (Der Abstand zwischen dem 1. und 3. Quartil) ist von der Streuung der Daten abhängig. Oberhalb und Unterhalb vom Medianwert (50 %-Quantil) befinden sich jeweils 50% der Daten. Befindet sich der Medianwert im oberen Teil des Kastens, so ist die Datenverteilung rechtsschief und umgekehrt [155].

Ausreißer: Beobachtungen, die mehr als 1,5 Kastenlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.

Extremwerte: Beobachtungen, die mehr als 3 Kastenlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.

## 6 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse für den Mittenrauwert (Maß für die Rauheit) und die Wellentiefe (Maß für den Substanzverlust) dargestellt. Dies geschieht jeweils im Vergleich zu den Werten, die bei hochglanzpolierten sowie mit Prophylaxepasten bearbeiteten Zahnoberflächen ermittelt wurden.

Die Wellentiefe und der Mittenrauwert wurden bei den hochglanzpolierten genauso wie bei den mit PWS bearbeiteten Zahnhartsubstanzoberflächen gemessen.

### 6.1 Mittenrauwert Ra

#### 6.1.1 Schmelz

Abbildung 6.1 zeigt die Rauheit von Rinderschmelz, der bis zu einer 4000er Körnung mit Siliziumkarbidpapieren poliert wurde und von Schmelzoberflächen, die durch Pulver-Wasser-Bestrahlung oder mit Prophylaxepasten bearbeitet wurden.

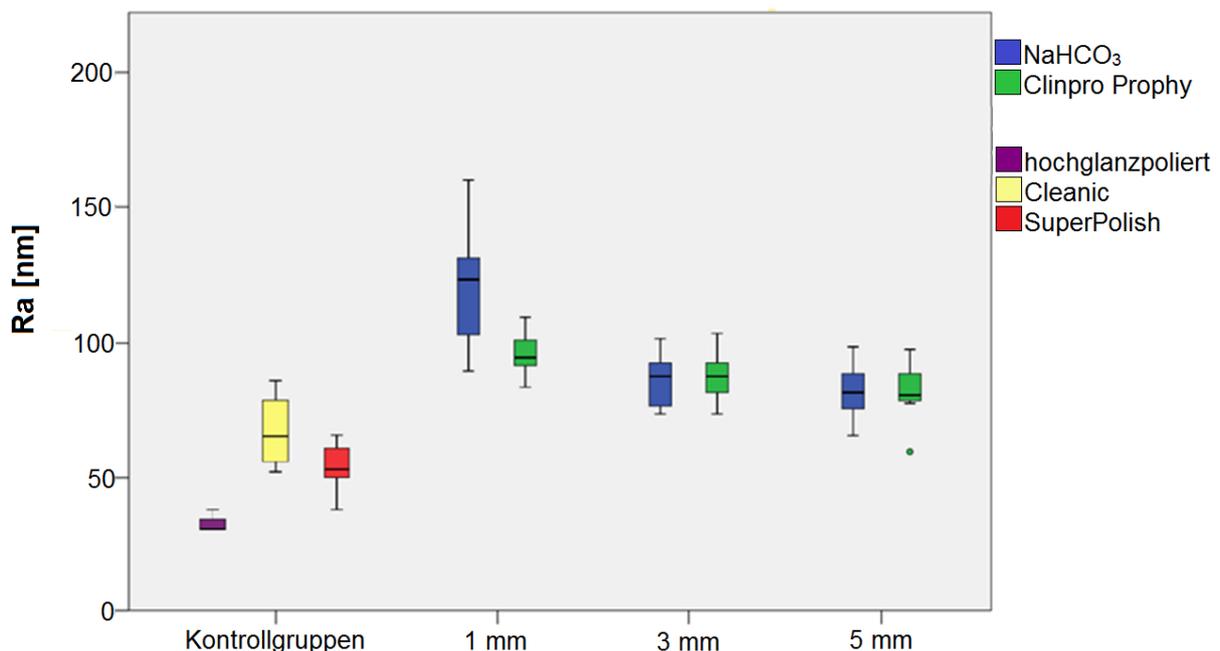


Abb. 6.1: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach Bearbeitung von Schmelzflächen mit dem Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Propphy Powder.

Tabelle 6.1 gibt an, dass jede Art der Bearbeitung (PWS und Politur mit Prophylaxepasten) signifikant rauere Schmelzoberflächen hinterließ als die

hochglanzpolierten Oberflächen. Unter den Prophylaxepasten hinterließ Cleanic rauere Oberflächen als SuperPolish, obwohl der Unterschied nicht signifikant war. Zwischen den verschiedenen Pulver-Wasser-Bestrahlungen gab es lediglich bei Air-Flow Prophylaxis Powder mit 1 mm Abstand signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

Pulver-Wasser-Bestrahlung erzeugte rauere Schmelzoberflächen als Politur mit SuperPolish. Außer bei Air-Flow Prophylaxis Powder mit 1 mm Abstand waren die Schmelzflächen nach PWS-Bearbeitung nicht signifikant rauere als Politur mit Cleanic.

Tabelle 6.1: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Rauheitsunterschiede zwischen den unterschiedlich bearbeiteten Schmelzgruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Clinpro Prophylaxis (5 mm)										×
Clinpro Prophylaxis (3 mm)									×	
Clinpro Prophylaxis (1 mm)							×			
NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)						×				
NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)					×					
NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)				×	*	*		*	*	
Super-Polish			×	*	*	*	*	*	*	*
Cleanic		×		*						
hochglanzpoliert	×	*	*	*	*	*	*	*	*	*
×	hochglanzpoliert	Cleanic	Super-Polish	NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)	Clinpro Prophylaxis (1 mm)	Clinpro Prophylaxis (3 mm)	Clinpro Prophylaxis (5 mm)	

### 6.1.2 Demineralisierter Schmelz

Die Pulver-Wasser-Bestrahlung demineralisierten Schmelzes aus 5 mm Abstand mit Air-Flow Prophylaxis Powder erzeugte signifikant rauere Oberflächen als Bestrahlung mit Clinpro Prophy Powder. Die bestrahlten Flächen waren deutlich rauer als hochglanzpolierte Schmelzoberflächen (Abb. 6.2 und Tab. 6.2). Da die Schmelzflächen nach Demineralisation auf PWS-Bearbeitung sehr empfindlich waren, wurde hier eine Strahldauer von 5 statt 60 Sekunden gewählt.

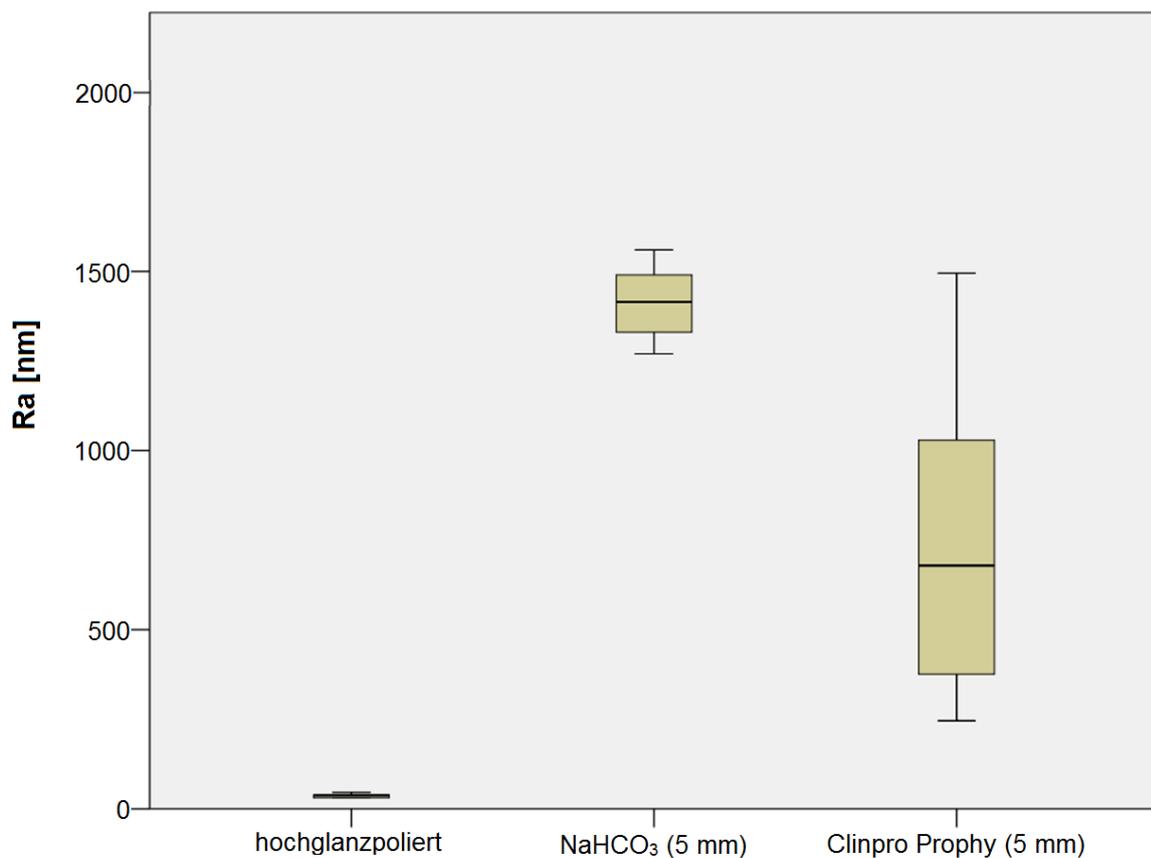


Abb. 6.2: Boxplot-Darstellung der Rauheit  $R_a$  nach PWS-Bearbeitung der demineralisierten Schmelzflächen; Strahldauer 5 s.

Tabelle 6.2: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Rauheitsunterschiede zwischen den Gruppen mit demineralisierten Schmelzflächen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Clinpro Prophy (5 mm)			×
NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)		×	*
hochglanz- poliert	×	*	*
×	hochglanz- poliert	NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)	Clinpro Prophy (5 mm)

### 6.1.3 Dentin

Abbildung 6.3 zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen pulpanahem

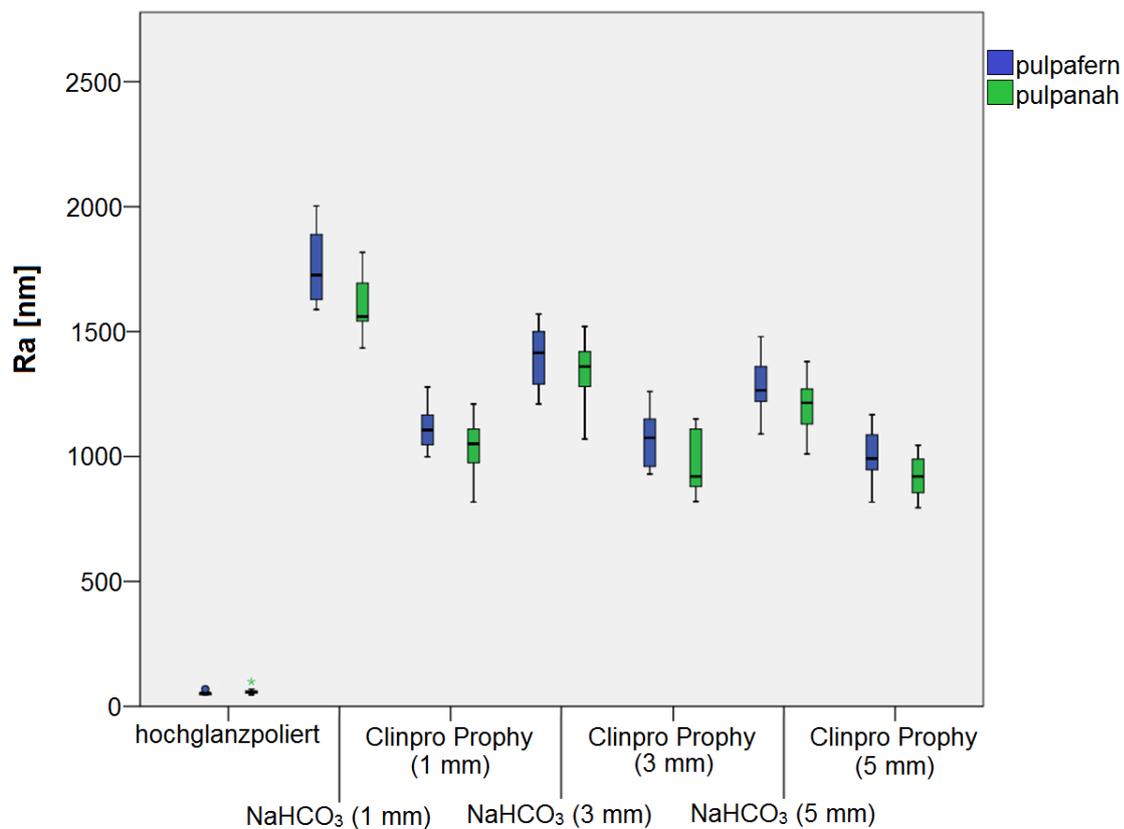


Abb. 6.3: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach PWS-Bearbeitung der pulpanahen und pulpafernen Dentinflächen mit unterschiedlichen Materialien im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

und pulpaferem Dentin bezüglich Rauheit bestehen, wenn beide Flächen mit dem gleichen Pulver und dem gleichen Abstand bestrahlt werden. Deshalb wurden die beiden Gruppen in einer Dentinegruppe zusammengefasst (Abb. 6.4, Tab. 6.3) und ausgewertet. Gleichwohl ist der Medianwert aller pulpanah gemessene Ra-Werte etwas niedriger als auf pulpaferem Dentin.

Zwar waren die Dentineflächen nach Politur mit SuperPolish glatter als mit Cleanic, aber es gab dazwischen keinen signifikanten Unterschied. Die Flächen nach der Politur mit Cleanic und SuperPolish waren deutlich glatter als sämtliche bestrahlten Dentineflächen und rauer als die mit Siliziumkarbidpapieren planpolierten Dentineoberflächen (Abb. 6.4).

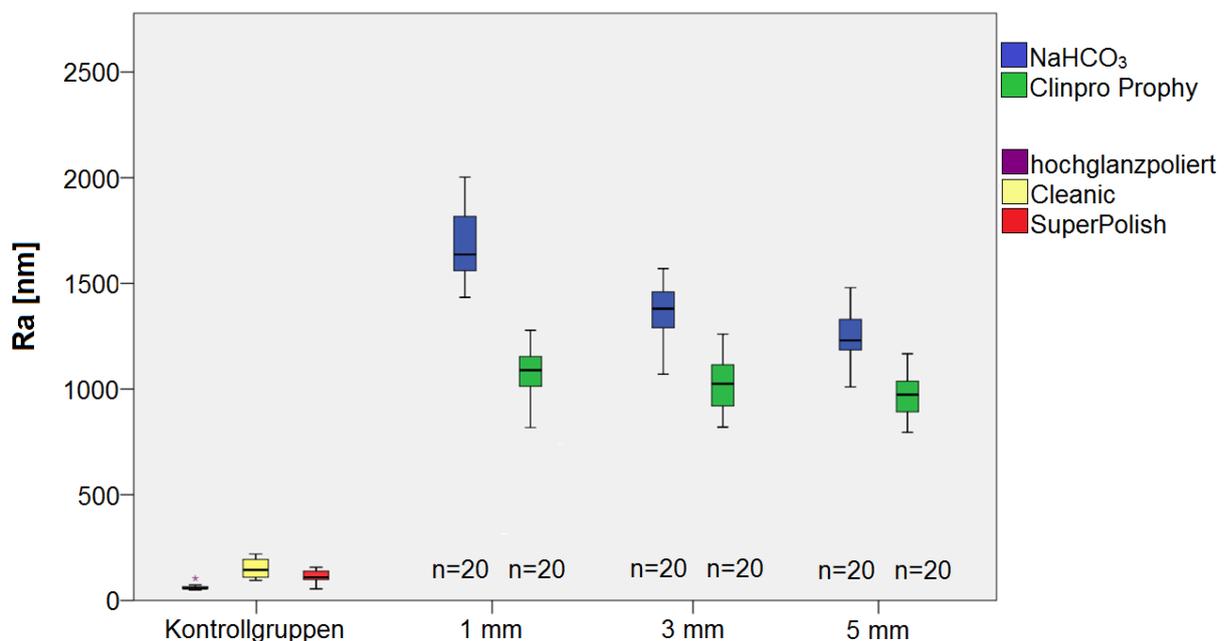


Abb. 6.4: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach Bearbeitung von Dentineflächen mit Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophy Powder im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentineflächen.

Zusammengefasst waren die Dentineflächen nach PWS-Bearbeitung mit Clinpro Prophy Powder signifikant glatter als nach NaHCO<sub>3</sub>-Behandlung (Abb. 6.4 und Tab. 6.3). Je geringer der Abstand, desto rauer waren die Dentineoberflächen, wobei die Unterschiede nur bei NaHCO<sub>3</sub> signifikant waren. Die glatteste Oberfläche hinterließ die PWS-Bearbeitung mit Clinpro Prophy Powder aus einem Abstand von 5 mm.

Tabelle 6.3: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Rauheitsunterschiede zwischen den Dentinegruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Clinpro Prophylax (5 mm)										×
Clinpro Prophylax (3 mm)									×	
Clinpro Prophylax (1 mm)							×			
NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)						×	*	*	*	
NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)					×		*	*	*	
NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)				×	*	*	*	*	*	
Super-Polish			×	*	*	*	*	*	*	
Cleanic		×		*	*	*	*	*	*	
hochglanzpoliert	×	*	*	*	*	*	*	*	*	
	hochglanzpoliert	Cleanic	Super-Polish	NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)	Clinpro Prophylax (1 mm)	Clinpro Prophylax (3 mm)	Clinpro Prophylax (5 mm)	

#### 6.1.4 Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin nach PWS-Bearbeitung bei 5 mm Abstand

Die Rauheit war bei Dentin und demineralisiertem Schmelz deutlich größer als bei gesundem Schmelz (Abb. 6.5). Der Unterschied zwischen Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophylax Powder war bei Schmelz nicht bedeutsam aber bei demineralisiertem Schmelz und Dentin signifikant.

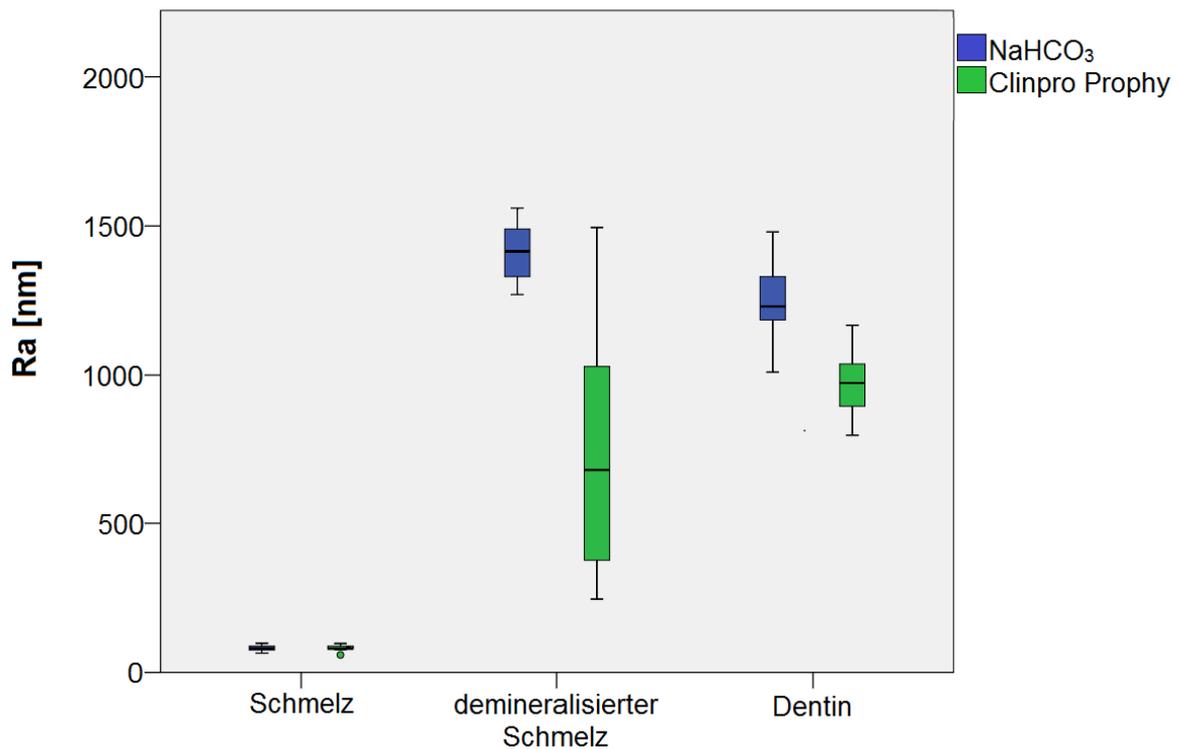


Abb. 6.5: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach PWS-Bearbeitung verschiedener Zahnhartsubstanzen (Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin) aus 5 mm Abstand.

## 6.2 Zahnhartsubstanzabtrag (Wellentiefe Wt)

### 6.2.1 Schmelz

Hinsichtlich Schmelzabtrag gibt es außer zwischen Cleanic und SuperPolish sowie zwischen hochglanzpoliertem Schmelz und Cleanic /NaHCO<sub>3</sub> (3 mm) /Clinpro Prophy (3 mm) keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tab. 6.4). Übrigens ist der Schmelzabtrag gering und klinisch nicht relevant und unabhängig vom verwendeten Pulver (Abb. 6.6).

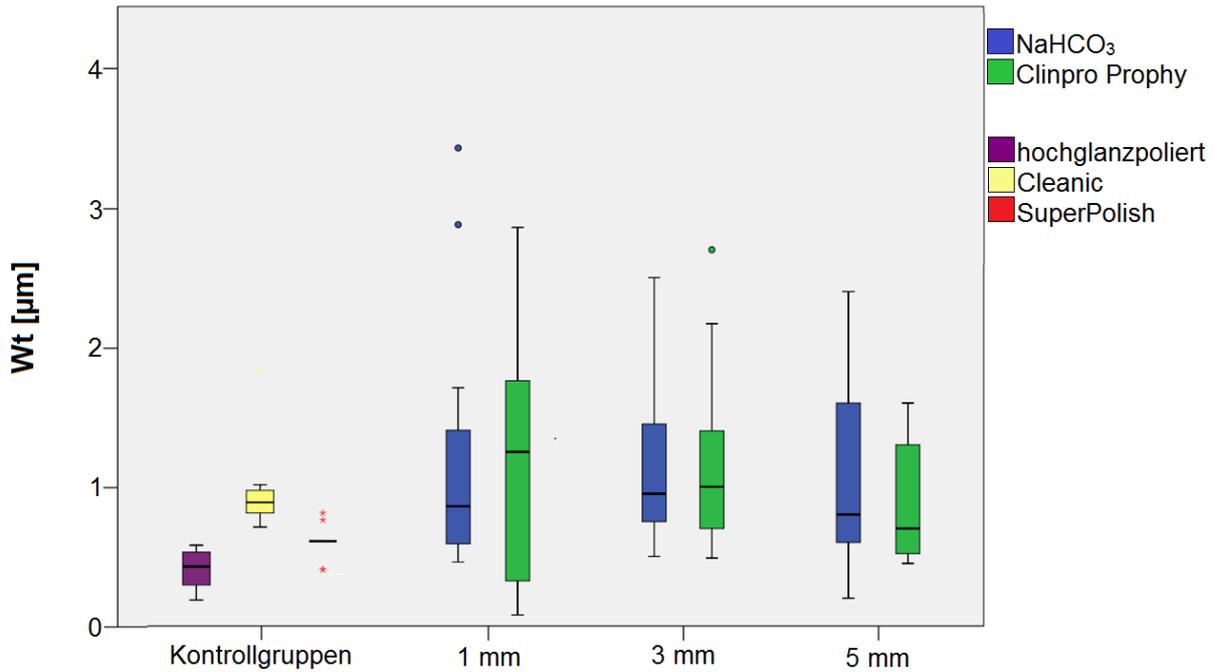


Abb. 6.6: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach Bearbeitung von Schmelzflächen mit den Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Propy Powder.

Tabelle 6.4: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Wellentiefenunterschiede zwischen den Schmelzgruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (p < 0,05)

Clinpro Propy (5 mm)									
Clinpro Propy (3 mm)									
Clinpro Propy (1 mm)									
NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)									
NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)									
NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)									
Super-Polish									
Cleanic			*						
hochglanz-poliiert		*			*			*	
	hochglanz-poliiert	Cleanic	Super-Polish	NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)	Clinpro Propy (1 mm)	Clinpro Propy (3 mm)	Clinpro Propy (5 mm)

### 6.2.2 Demineralisierter Schmelz

Das Bestrahen der zuvor demineralisierten Schmelzflächen führte zu einem massiven Schmelzverlust, der bei den meisten Proben mit Clinpro Prophy Powder geringer war als mit Air-Flow Prophyllaxis Powder (Abb. 6.7 und Tab. 6.5).

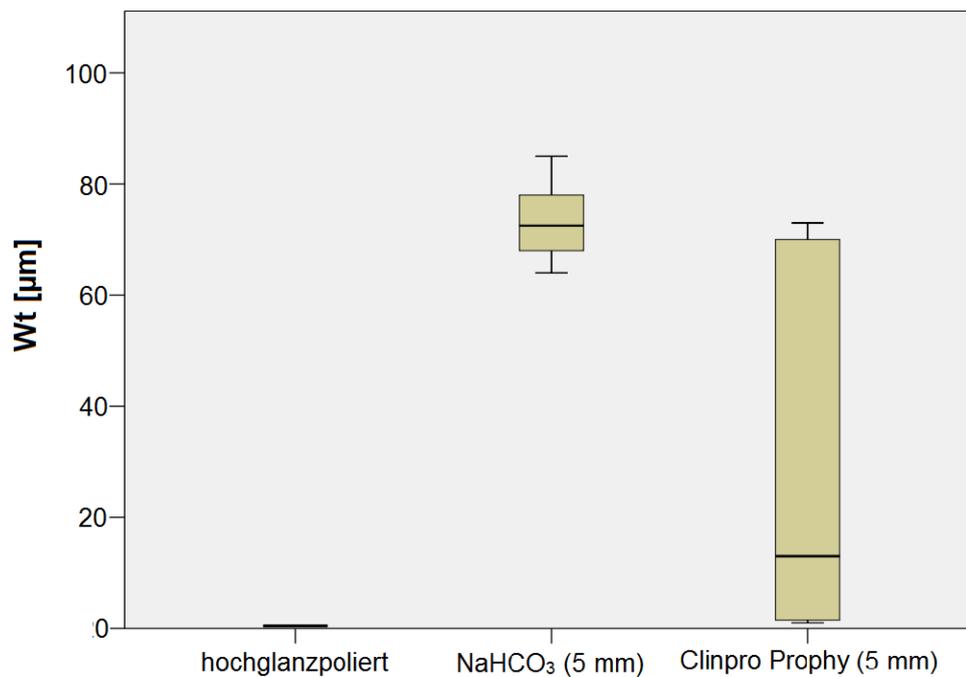


Abb. 6.7: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach PWS-Bearbeitung der demineralisierten Schmelzflächen.

Tabelle 6.5: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Wellentiefenunterschiede zwischen den Gruppen mit demineralisierten Schmelzflächen mittels Mann-Whitney-U-Test.

\* = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Clinpro Prophy (5 mm)			X
NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)		X	*
hochglanzpoliert	X	*	*
X	hochglanzpoliert	NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)	Clinpro Prophy (5 mm)

### 6.2.3 Dentin

Abbildung 6.8 zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen pulpanahem und pulpaferem Dentin hinsichtlich Dentinabtrag gibt, wenn beide Flächen mit dem gleichen Pulver und dem gleichen Abstand bestrahlt werden. Gleichwohl ist der Abtragsmedianwert bei pulpanahem Dentin jeweils etwas geringer.

Im Weiteren wurden die beiden Gruppen jeweils in einer Gruppe (n=20) zusammengefasst und ausgewertet.

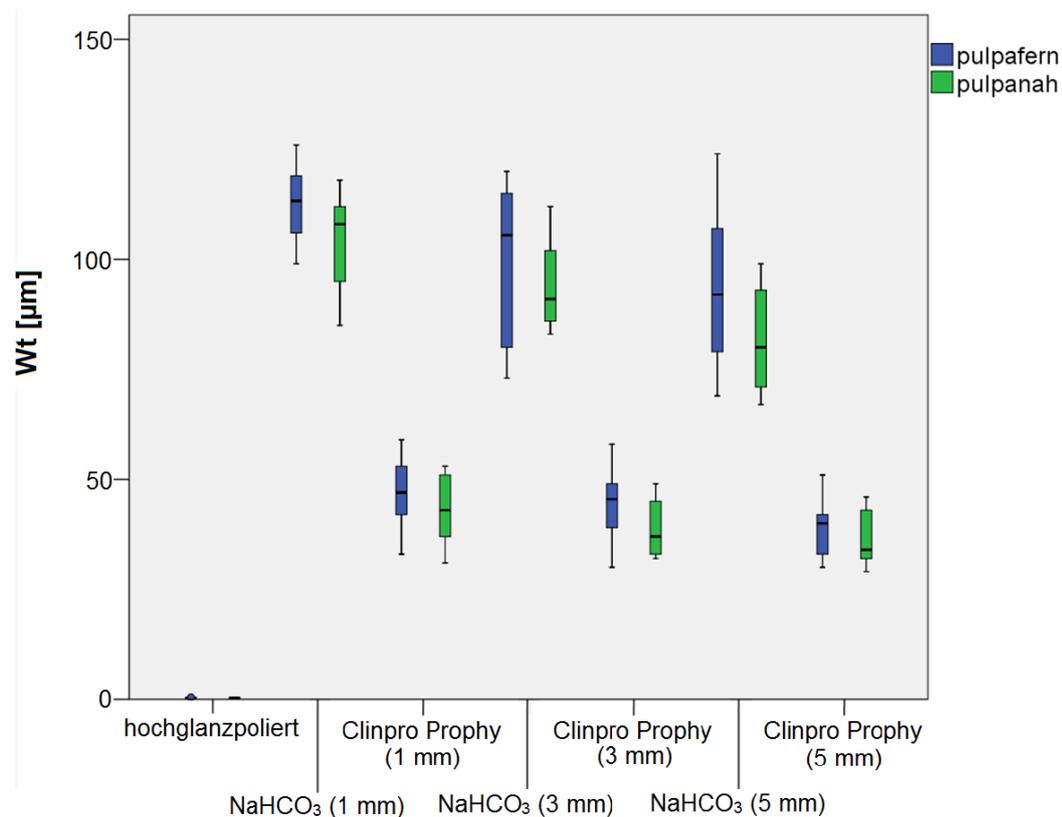


Abb. 6.8: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach PWS-Bearbeitung der pulpanahen und pulpaferen Dentinflächen mit unterschiedlichen Materialien im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

Mit der Prophylaxepaste Cleanic wurde mehr Dentin abgetragen als mit SuperPolish. Beide Prophylaxepasten entfernten weniger Dentin als jede Bestrahlung der Dentinflächen, wobei die Unterschiede zwischen Cleanic und Clinpro Prophy Powder aus allen Abständen nicht signifikant waren (Abb. 6.9 und Tab. 6.6).

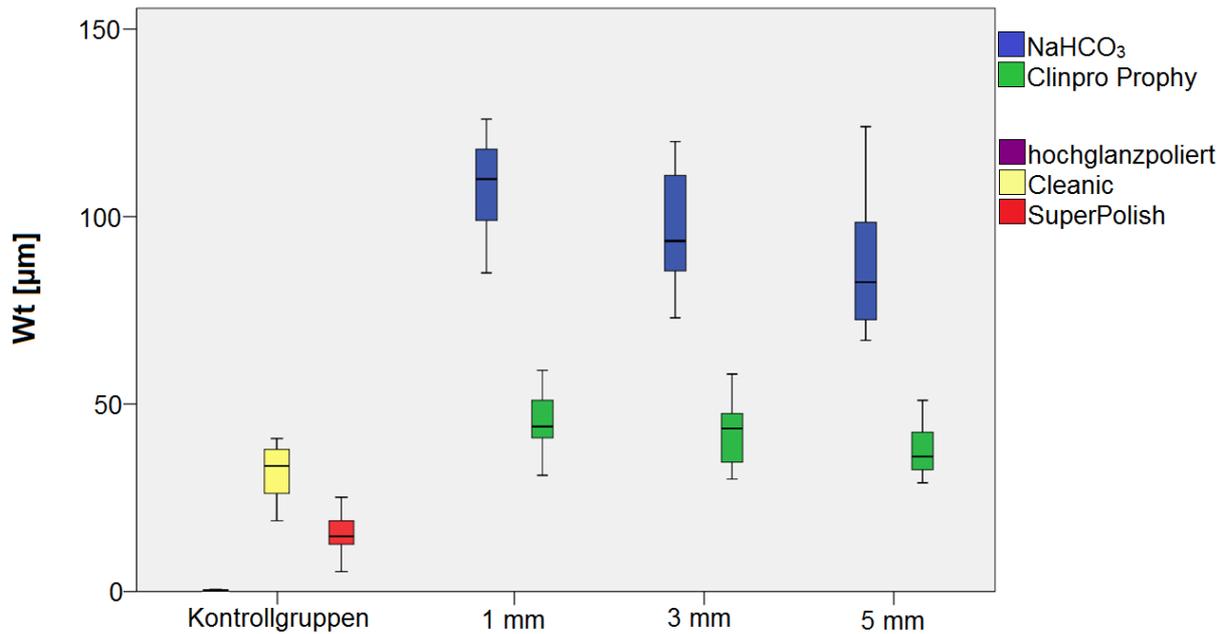


Abb. 6.9: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach Bearbeitung von Dentinflächen mit den Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophy Powder im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

Tabelle 6.6: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Wellentiefenunterschiede zwischen den Dendingruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Clinpro Prophy (5 mm)										×	
Clinpro Prophy (3 mm)										×	
Clinpro Prophy (1 mm)										×	
NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)									*	*	*
NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)									*	*	*
NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)									*	*	*
Super-Polish									*	*	*
Cleanic									*	*	*
hochglanzpoliert									*	*	*
×	hochglanzpoliert	Cleanic	Super-Polish	NaHCO <sub>3</sub> (1 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (3 mm)	NaHCO <sub>3</sub> (5 mm)	Clinpro Prophy (1 mm)	Clinpro Prophy (3 mm)	Clinpro Prophy (5 mm)		

Clinpro Prophy Powder entfernte  $< 50\%$  des Abtrags von Air-Flow Prophylaxis Powder. Mit Vergrößerung des Abstandes zwischen der Düse und der Zahnoberfläche entfernte die Pulver-Wasser-Bestrahlung etwas weniger Dentin (Abb. 6.9).

#### 6.2.4 Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin nach PWS-Bearbeitung bei 5 mm Abstand

Im Gegensatz zu gesundem Schmelz führte jede Art der Bearbeitung von Dentin und demineralisiertem Schmelz durch Bestrahlung oder Politur zu einem deutlichen Zahnhartsubstanzverlust. Aus Abbildung 6.10 ist ersichtlich, dass der Schmelzabtrag nach PWS-Bearbeitung (bei gesundem Schmelz) unabhängig vom verwendeten Pulver unbedeutend ist. Clinpro Prophy Powder erscheint bei PWS-Behandlung der Dentin- und demineralisierten Schmelzflächen deutlich schonender zu sein.

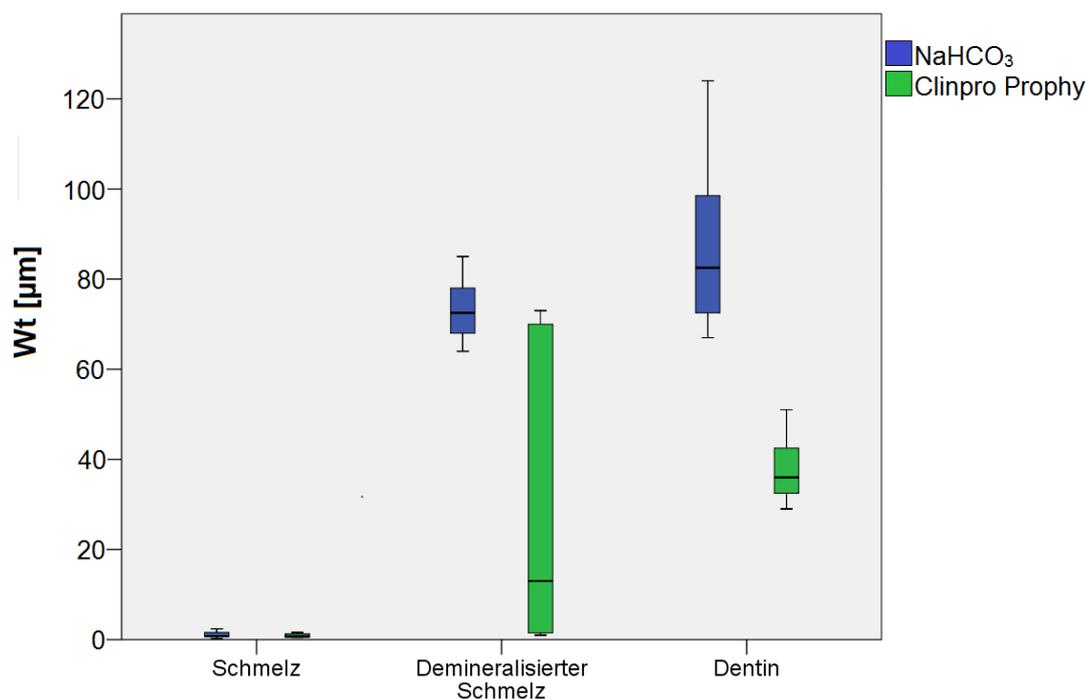


Abb. 6.10: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach PWS-Bearbeitung verschiedener Zahnhartsubstanzen (Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin) aus 5 mm Abstand.

## **7 Diskussion**

### **7.1 Diskussion der Fragestellungen**

Ziel dieser Arbeit war es, anhand von In-vitro-Untersuchungen an Rinderzähnen festzustellen, ob Clinpro Prophy Powder eine schonendere Alternative zu Air-Flow Prophylaxis Powder bei PWS-Bearbeitung von Schmelz, demineralisiertem Schmelz und Dentin hinsichtlich Oberflächenrauheit und Zahnhartsubstanzabtrag darstellt. Weiterhin wurde geprüft, ob bei PWS-Bearbeitung Unterschiede zwischen puplanahem und -fernem Dentin besteht und welche Arbeitsparameter die Wirkungen einer PWS-Bearbeitung beeinflussen können.

### **7.2 Diskussion der Materialien und Methoden**

#### **7.2.1 Herstellung, Vorbereitung und Lagerung der Prüfkörper**

Es ist schwer, intakte menschliche Zähne in ausreichender Zahl und guter Qualität zu erhalten, da diese üblicherweise wegen Karies und anderer Defekte extrahiert werden. In der Literatur gibt es zahlreiche Belege für die große Ähnlichkeit humanen und bovinen Zahnschmelzes und -dentins [156-164]. Für die Untersuchungen wurden daher kariesfreie Rinderschneidezähne verwendet, weil sie in genügend großer Zahl vorhanden sind, eine ausreichend große Labialfläche haben und in der Regel keine Karies oder andere Mängel aufweisen, die die Ergebnisse beeinflussen könnten [165].

Rauigkeitswerte, die an bovinem und humanem Zahnschmelz gemessen wurden, sind nicht völlig gleich, haben aber eine starke Korrelation [166,156]. Zahlreiche Untersucher verwendeten für In-vitro-Studien Rinderzähne anstelle menschlicher Zähne [167-174].

Auch zur Wirkung einer Pulver-Wasser-Bestrahlung wurden bereits Experimente an Rinderzähnen durchgeführt [13,15,58,106,142,144,157]. Rinderzähne können somit als Ersatz für menschliche Zähne bei den hier durchgeführten In-vitro-Versuchen angesehen werden.

Zur Vermeidung iatrogenen Schäden durch Risse wurden die Rinderzähne nicht extrahiert, sondern die Kronen unter Wasserkühlung mit rotierenden Lindemann-Fräsen in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze abgetrennt. Zähne mit sichtbaren Schmelzsprüngen wurden nicht verwendet. Bei einzelnen Prüfkörpern mit Schmelzsprüngen, die erst nach der Bestrahlung zu sehen waren, wurde die Messung, soweit diese Sprünge nicht auf den Messstrecken lagen, vorgenommen. Ansonsten wurden diese Prüfkörper verworfen.

Um den Effekt individueller Formunterschiede zwischen Zähnen so weit wie möglich zu reduzieren, wurden nur gesunde Zähne verwendet, die große Ähnlichkeiten zeigten.

Es wurden pulpanahe und -ferne Dentinflächen hergestellt. Damit der Abstand der Dentinoberfläche an jeder beliebigen Stelle zur Pulpa weitgehend gleich bleibt, musste das Schleifen möglichst parallel zur Grenzlinie zwischen Dentin und Pulpa erfolgen. Daher wurden die Prüfkörper seitlich geröntgt (Abb. 5.7), um die Ausrichtung jedes Zahnes im Prüfkörper zu bestimmen und das Schleifen parallel zur Dentin-Pulpa-Grenzlinie durchzuführen. Zur Herstellung von pulpafernen Dentinflächen wurden die Zähne ab dem Punkt, wo Dentin freilag (Schmelz-Dentin-Grenze), mit einer speziell angefertigten Vorrichtung (Abb. 5.8) weitere 0,6 mm mit Siliziumkarbidpapieren parallel zur Dentin-Pulpa-Grenzlinie beschliffen (siehe Kap. 5.2.1.3). Nach der Bearbeitung und Vermessung dieser Flächen wurden bei denselben Prüfkörpern zur Herstellung der pulpanahen Dentinflächen um weitere 0,8 mm Dentin abgetragen und hochglanzpoliert. Mit dieser Vorgehensweise wurde versucht, Dentinflächen mit möglichst gleichem Abstand von jeweils 0,6 mm und 1,4 mm von der Schmelz-Dentin-Grenzlinie herzustellen. Da ein Zahn bei einem seitlich aufgenommenen Röntgenbild zweidimensional abgebildet wird, wurde darauf geachtet, dass die Labialflächen der in den Prüfkörpern eingebetteten Zähne möglichst horizontal lagen, damit die Dentin-Pulpa-Grenzlinien genauer und als eine Linie und nicht als eine Fläche abgebildet wurden.

Ein Teil der hochglanzpolierten Schmelzprüfkörper wurden zur Herstellung der Schmelzflächen mit demineralisierten Oberflächen (Initialkaries) weiter bearbeitet. Dabei kam ein In-vitro-Kariesmodell zur Anwendung, das die natürlichen Bedingungen der Mundhöhle imitieren sollte. Die Schmelzprüfkörper wurden in einem feucht-warmen Milieu einer kariogenen Bakterienflora sowie Minerallösung

(künstlicher Speichel) ausgesetzt. Es ließen sich alle vier ätiologischen Faktoren der Karies (Wirt, Substrat, Mikroorganismen, Zeit) darstellen [152].

Es wurde aber nur *Streptococcus mutans* verwendet. Diese Monokultur entspricht aber der komplexen Situation im Mund nicht. Die Handhabung des Systems war der nächste Nachteil. Das Aufbauen des In-vitro-Kariesmodells war sehr aufwendig und dabei musste zum Vermeiden einer Kontamination sehr gründlich und sauber gearbeitet werden. Viele Parameter (z.B. unterschiedliche Ernährung und Mundhygiene sowie Speichelzusammensetzung und Mundflora) konnten dabei nicht mit berücksichtigt werden. Konstante Bedingungen und nahezu gleich starke Schmelzdemineralisation können als ein Vorteil angesehen werden [175].

Durch Lagerung der Zähne in 0,1%iger Thymollösung werden die Ergebnisse nicht beeinflusst. Die Thymollösung schützt die Zähne vor austrocknung und hemmt das bakterielle Wachstum [176-178].

Alternativ hätte man eine Methylendiphosphorsäure (MHDP)-haltigen Demineralisationslösung nach Buskes [179] verwenden können. MHDP verhindert die Auflösung der Oberflächenschicht des Schmelzes [180]. So entsteht eine intakte Oberflächenschicht und die Demineralisation findet in den tieferen Schichten des Schmelzes statt. Die so entstandene Läsion ähnelt der in vivo-Initialkaries. Die Geschwindigkeit der Läsionsbildung kann über die MHDP-Konzentration reguliert werden [179]. Die Demineralisationslösung nach Buskes enthält Essigsäure und wird in einem Wärmeschrank bei einer Temperatur von 37° C aufbewahrt. Der pH-Wert wird durch die Zugabe einer Kaliumhydroxidlösung über die gesamte Zeit auf 5,0 eingestellt.

### **7.2.2 Bearbeitung der zunächst hochglanzpolierten Prüfkörper**

Damit die Ausgangsbedingungen für alle Zähne gleich sind, wurden alle Zähne plan geschliffen und hochglanzpoliert. Sobald ein Durchschimmern von Dentin im beschliffenen Areal festzustellen war, wurde der Prüfkörper weiter für die Herstellung der Dentinprüfkörper verwendet, sonst war die Gefahr einer Dentinfreilegung sehr hoch.

Pro Zahn wurden jeweils drei Areale bearbeitet. Dabei erfolgte die Bearbeitung jeder Teilfläche per Zufall mit unterschiedlichen Pulvern/Abständen oder Prophylaxepasten. Durch die verschiebbare Blende wurde jeweils nur eine Fläche bearbeitet und die benachbarten Areale blieben abgedeckt. Durch die zufällige Zuordnung der bearbeiteten Flächen (inzisal, mittig, zervikal) zur Bestrahlung beziehungsweise Politur konnten strukturelle Unterschiede zwischen inzisalen und zervikalen Schmelzbeziehungsweise Dentinregionen die Ergebnisse nicht systematisch beeinflussen.

Da die zu bearbeitenden Zahnoberflächen planpoliert wurden, waren die Flächen je nach Stärke der Zahnwölbung unterschiedlich weit von der ursprünglichen Schmelzoberfläche entfernt. Deswegen war der eventuelle Einfluss der Schmelztiefe auf die Ergebnisse nicht auszuschließen.

### 7.2.2.1 Bearbeitungszeit

Die Bearbeitungszeit einer Fläche wurde basierend auf einer Studie von Jost-Brinkmann [13] auf 60 s festgelegt. Diese Bestrahlungszeit sollte der Dauer der PWS-Bearbeitung eines kieferorthopädischen Patienten mit einer durchschnittlichen vierjährigen Behandlungszeit mit regelmäßiger PWS-Bearbeitung bei den Kontrollterminen im Abstand von vier bis fünf Wochen entsprechen.

Jeder zu bestrahlende Schlitz hat eine Fläche von  $14 \text{ mm}^2$  ( $7 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ ). Nach Miethke [158] beträgt die Breitensumme aller Zähne bei Mädchen 176,18 mm (Oberkiefer und Unterkiefer, ohne zweite und dritte Molaren). Bei einer durchschnittlichen Kronenlänge von 7 mm kommt eine Fläche von  $1233,26 \text{ mm}^2$  zustande. Eine Fläche in der Größe der Schlitz entspricht dem 88,1te Anteil der Gesamtfläche ( $1233,26 \text{ mm}^2 \div 14 \text{ mm}^2 = 88,09$ ).

Bei einer Gesamtreinigungsdauer von etwa 3 min [12] für ein vollständiges Gebiss ist bei Patienten mit vestibulären festsitzenden Apparaturen eine Zeit von 120 s für die Labial- und Bukkalflächen der Zähne, nämlich doppelt so viel wie für die Oralflächen anzunehmen. Bei jeder PWS-Bearbeitung wird eine Fläche in der Größe der Schlitz 1,36 s ( $120 \text{ s} \div 88,09 = 1,36 \text{ s}$ ) lang bestrahlt. Die Bestrahlung jedes Schlitzes für 60 s stimmt mit 44,1 PWS-Behandlungen ( $60 \text{ s} \div 1,36 = 44,1$ ) überein. Bei einer vierjährigen Behandlung werden mit vierwöchigen Kontrollterminen 52 Reinigungen

und mit fünfwöchigen Kontrollterminen 41,6 Reinigungen durchgeführt. Somit sind 44,1 Reinigungen für so eine kieferorthopädische Behandlung realistisch anzusehen [13].

Die Bestrahlungsdauer der Zähne dauert bei Patienten aber in der Regel kürzer als hier angenommen. Die Bestrahlungszeit von 120 s für Bukkalflächen bezieht sich auf vollbezahnte Gebisse. Die zu reinigende Fläche reduziert sich, wenn man die zweiten und dritten Molaren nicht berücksichtigt. Allerdings wurde die Gesamtfläche anhand der Zahnbreiten ohne Berücksichtigung der natürlichen Wölbungen der Zähne berechnet. Somit braucht man für diese ermittelte Gesamtfläche ohne Berücksichtigung der natürlichen Zahnwölbungen weniger als 120 s. Dazu kommt, dass die Dauer der Multibracket-Behandlungen in der Regel kürzer als 4 Jahre ist. Außerdem bezieht sich die Bestrahlungszeit von 120 s für die Bukkalflächen auf plaquebehaftete Zähne. Wenn das Gebiss durch adäquate Mundhygiene sauberer aussieht, reduziert sich die Bestrahlungsdauer oder kann auf eine PWS-Behandlung unter Umständen verzichtet werden.

Für Prophylaxepasten wurde die gleiche Bearbeitungszeit wie für die PWS festgesetzt, obwohl die Zahnreinigung mit Prophylaxepasten klinisch deutlich länger dauert [13].

#### **7.2.2.2 Pulver-Wasser-Bestrahlung**

Bei den Experimenten wurden drei Strahlabstände gewählt (1, 3 und 5 mm). Die meisten Studien fanden bei Abständen zwischen 2 und 5 mm statt [13,16,116,129]. Ein Abstand von deutlich mehr als 5 mm scheint für eine gezielte Reinigung allerdings ungeeignet.

In der vorliegenden Studie wurde ein Strahlwinkel von 90° gewählt. In vivo ist es unrealistisch, alle Zahnflächen aufgrund der natürlichen Wölbung der Zahnoberflächen in einem identischen Winkel zu bestrahlen. Außerdem gibt es bei Multibracket-Patienten zusätzliche Erschwernisse durch Brackets, Bögen und Bänder, so dass es schwierig ist, alle Zahnflächen in einem identischen Winkel zu bestrahlen.

Durch das Auffüllen des Pulvers nach jeweils 30 s Bestrahlung wurde das Air-Flow Handy 2+ mit maximalem Füllstand des Pulverbehälters betrieben. Damit wurde ein möglicher Einfluss der variablen Pulvermenge im Behälter auf die In-vitro-Ergebnisse vermieden.

Eine Standardisierung und Konstanz von Strahlwinkel und -abstand wurde in dieser Untersuchung durch eine Vorrichtung aus Gips und Silikon für das Air-Flow Handy 2+ (Abb. 5.12) und eine Haltevorrichtung (Abb. 5.11) zum Positionieren der Prüfkörperhalterung sichergestellt. Die Strahlabstände (1 mm und 3 mm) wurden durch Einlegen von Platzhaltern aus Plexiglasscheiben mit Dicken von 2 und 4 mm (Abb. 5.13) zwischen der Prüfkörperhalterung und der Haltevorrichtung eingestellt. Bei Plexiglaseinsätzen mit 4 mm Dicke resultierte ein Strahlabstand von 1 mm und mit 2 mm Dicke ein Strahlabstand von 3 mm. Bei 5 mm Strahlabstand wurde kein Einsatz verwendet. Wenn die Prüfkörperhalterung auf der zweiteiligen Vorrichtung stand, blieb die Zahnoberfläche parallel zur Tischebene und der Abstand von der Düse bis zur Zahnoberfläche betrug 5 mm. Das wurde vor Beginn jeder Untersuchung kontrolliert und gegebenenfalls justiert.

Um die Zahnoberfläche gleichmäßig zu bestrahlen, wurde die zweiteilige Vorrichtung samt Prüfkörperhalterung und Prüfkörper unter der Düse manuell und unter Sichtkontrolle möglichst gleichmäßig hin- und herbewegt. Da die plane Zahnoberfläche parallel zur Tischebene ausgerichtet war, blieb der Düsenabstand während der PWS-Behandlung unverändert. Ein zu jeder Zeit genau gleicher Abstand zwischen Düsenausgang und Zahn lässt sich dagegen im Mund wegen der Wölbungen der Zahnoberflächen und der Morphologie der Zahnzwischenräume kaum realisieren.

### **7.2.2.3 Bearbeitung mit den Prophylaxepasten**

Die Zahnreinigung/-politur mit Pasten ist eine weit verbreitete Methode zur professionellen Zahnreinigung. Es gibt aber deutliche Unterschiede zwischen den Pasten bezüglich ihrer Abrasivität.

Für die konventionelle Zahnreinigung mittels Pasten wurden 2 Prophylaxepasten (Cleanic und SuperPolish) in Kombination mit rotierenden Gummispitzen verwendet.

Eine ideale Reinigungspaste sollte gleichzeitig reinigen und polieren. Üblicherweise müssen deshalb im Rahmen der professionellen Zahnreinigung mindestens zwei Pasten benutzt werden, eine zur Reinigung und eine zur Politur [57]. Jost-Brinkmann [13] untersuchte die gröberen Pasten CCS 250 und CCS 170 und fand, dass die Pasten CCS 250 und CCS 170 aggressiver auf Zahnschmelz wirken als Cleanic. Dagegen untersuchte Nedwed [58] die feineren Pasten CCS 120 und CCS 40 und bewies die gegenüber Cleanic schonendere Wirkung dieser Prophylaxepasten.

Die Prophylaxepaste Cleanic soll sowohl reinigen als auch polieren. Eine perlithaltige Paste wie Cleanic ist nach Lutz und Imfeld [57] das Mittel der Wahl, wenn die Zahnreinigung mit einer einzigen Paste erfolgen soll, da Perlit schnell zerfällt und dann eher polierende Wirkung haben soll.

### 7.2.3 Messverfahren

Die Oberflächenuntersuchungen durch die mechanische Profilometrie ist ein anerkanntes Verfahren und wurde in Studien zur Untersuchung der Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Zahnhartsubstanzen angewendet [13,15,58,125,127].

Auch in der vorliegenden Studie wurde dieses Verfahren verwendet. Die Abtastung der Prüfkörper erfolgte mit einem Einkufen-Tastsystem mit einem 45°-Diamanten als Tastspitze, die besser in feinere Risse und Rauigkeiten eindringen kann als ein kugelförmiger Taster. Der Durchmesser der Tastspitze betrug 10 µm.

Es gibt allerdings auch berührungslose Oberflächentastverfahren. Dabei arbeitet der optische Mikrotaster (Alicona Imaging GmbH) nach dem Prinzip der dynamischen Fokussierung. Der Fokusedurchmesser auf der Messfläche beträgt 2 µm [13]. Dadurch können auch feinste Oberflächenveränderungen vermessen werden, während mechanische Taster mit  $\geq 10$  µm Tastspitzengröße nicht oder nicht vollständig feinste Oberflächenveränderungen erfassen können und daher eine geringere Rauheit messen. Allerdings hatte das mechanische Tastverfahren bei den Dentinprüfkörpern den Vorteil, dass die Tastspitze im Gegensatz zum Laserstrahl nur minimal in die Dentinkanälchen eindringt und deswegen die Tiefe der Dentinkanälchen nicht als Oberflächenrauheit gemessen wurde. Von daher sind die

eigenen Ergebnisse nur bedingt mit durch Laserprofilometrie gewonnene Rauigkeitsmesswerten anderer Autoren vergleichbar. Es sind demnach eher geringere Rauheitswerte als in Studien mit laseroptischen Messungen zu erwarten.

Für jede bearbeitete Oberfläche wurden drei lineare parallele Scans (Mitte und jeweils 2 mm entfernt von der Mitte) durchgeführt. Daher konnten kleine Risse, Sprünge oder Artefakte, die trotz der beschriebenen sorgfältigen Aussortierung der Zähne noch unerkant blieben, und eine nicht vollkommen gleichmäßige Bearbeitung der Flächen die Ergebnisse nicht entscheidend beeinflussen. Risse und Sprünge trafen vermutlich die Scanlinien eher punktförmig, so dass aufgrund der Definition eine starke Beeinflussung der mittleren Rauheit nicht zu erwarten ist.

Da in der vorliegenden Arbeit planpolierte Zahnflächen bestrahlt und vermessen wurden, waren Fehler bei der Rauheitsmessung und Bestimmung des Materialabtrages zu vermeiden, die bei gewölbten Zahnoberflächen hätten auftreten können. Aus demselben Grund war es wichtig, die Prüfkörper bei den Messungen horizontal auszurichten. Mit Hilfe einer Vorrichtung (Abb. 5.16), in der die Prüfkörper mit Gummis festgehalten wurden, waren die Zahnoberflächen weitgehend horizontal und mit Hilfe der Markierungen immer zentral ausgerichtet, so dass die Positionierung der Prüfkörper reproduzierbar war. Nach Pelka et al. [159] ist bei einer Wiederholung von Messungen mit mechanischem Abtastverfahren nicht mit einer nennenswerten Beeinflussung der gemessenen Rauheit zu rechnen.

### **7.3 Diskussion der Versuchsergebnisse**

#### **7.3.1 Rauheit**

Die geringere Rauheit der hochglanzpolierten Schmelz- und Dentinflächen gegenüber den nachfolgend mit PWS bestrahlten oder mittels Prophylaxepasten polierten Flächen bestätigen die Resultate anderer Studien [13,15,58,125,127,160].

Die eigenen Versuche bestätigen, dass eine Politur mit SuperPolish glattere Schmelz- und Dentinoberflächen hinterlässt als eine Bearbeitung mit Cleanic (Abb. 6.1 und 6.4).

In Abweichung von einer typischen In-vivo-Anwendung, wo zumeist flache Gummikelche verwendet werden, kamen auf den Prüfkörpern Gummispitzen zum Einsatz. Sie sind für eine gleichmäßige Bearbeitung der schmalen Flächen von Vorteil (2 mm x 7 mm).

Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien sollte mit Vorsicht durchgeführt werden, da die Härte, Form und Oberflächenbeschaffenheit und die sonstigen Eigenschaften von verschiedenen Borsten- und Gummimaterialien variieren. Die Drehzahl und besonders die Kraft, mit der die Politur erfolgt, ist in jeder Untersuchung anders. Dazu kommt die Art der Oberflächenstrukturanalyse (Laserprofilometrie oder mechanisches Abtastverfahren) (siehe Kap. 7.2.3). Alle diese Faktoren müssen bei einem Vergleich bedacht werden. Nedwed [58] konnte zeigen, dass Schmelzpolitur mit CCS 40 und CCS 120 unter Verwendung einer Bürste deutlich rauere Oberfläche erzeugt als mit einem Gummipolierer. Die Tendenz zu geringerer Rauheit durch Gummipolierer war auch bei Cleanic erkennbar. Im Gegensatz dazu konnten Lutz et al. [160] für Cleanic und CCS 40 keine signifikanten Rauheitsunterschiede zwischen Bürsten- und Gummikelchanwendung finden. Dass umgekehrt ein Gummikelch im klinischen Gebrauch aggressiver als eine Bürste ist, dürfte aber unwahrscheinlich sein.

Die hier ermittelten Rauheitswerte der mit Cleanic bearbeiteten Schmelzflächen sind bei gleicher Bearbeitungsdauer, wie erwartet, niedriger als die von Jost-Brinkmann [13] sowie Nedwed [58] gemessenen Werten. Das ist mit der höheren Empfindlichkeit des von den AutorInnen verwendeten optischen Mikrotasters zu erklären. Die Prophylaxepaste SuperPolish hinterließ in der vorliegenden Studie die glattesten Schmelz- und Dentinoberflächen, somit auch glattere Flächen als Cleanic und PWS-Bearbeitung.

Jost-Brinkmann [13] beschränkte seine Untersuchung auf die gröberen Pasten CCS 250 und CCS 170 und fand genauso wie Hosoya und Johnston [161], dass die Pasten CCS 250 und CCS 170 aggressiver auf Zahnschmelz wirken als die von ihm untersuchten PWS (mit Ausnahme des Clean-Jet-Gerätes); sie sind daher nicht zum Polieren geeignet. Nedwed [58] untersuchte die feineren Pasten CCS 120 und CCS 40 und bewies wie Hosoya und Johnston [161] die gute Polierwirkung von CCS 40. Cleanic befindet sich somit in der Mitte des CCS-Systems. Das bedeutet

eine akzeptable Kompromisslösung zwischen guter Reinigung und ausreichender Politur.

Khalefa et al. [15] haben bei Bestrahlung mit einem Air-Flow Handy 2+ und bei Politur mit Cleanic fast die gleichen Rauheitswerte gemessen wie in der vorliegenden Arbeit. Nedwed [58] hat gezeigt, dass das Prophyflex 2 [Strahlabstand 5 mm] ähnlich glatte Oberflächen erzeugte wie eine Politur mit Cleanic und Gummipolierer. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam Jost-Brinkmann [13], der für mehrere Pulver-Wasser-Strahlgeräte keine größere Rauheit als durch Politur mit Cleanic feststellte. In der hier vorliegenden Arbeit hinterließ aber jede Pulver-Wasser-Bestrahlung zwar rauere Schmelzoberfläche als die Politur mit Cleanic und Gummispitze, aber die Unterschiede waren außer bei der Gruppe von  $\text{NaHCO}_3$  (1 mm) statistisch nicht signifikant (Abb. 6.1 und Tab. 6.1).

Bei Dentin waren aber die Flächen nach PWS-Einsatz im Gegensatz zu den Schmelzflächen deutlich rauer als nach Prophylaxepasten-Anwendung (Abb. 6.4). Das haben auch Meier et al. [127] bestätigt.

Grundsätzlich sollte man beim Vergleich verschiedener Studienergebnisse folgende Arbeitsparameter mitberücksichtigen :

- das verwendete Gerät und seine Einstellungen,
- das verwendete Pulver und seine Partikelgrößen,
- Füllstand des Pulvertanks
- Strahlabstand,
- Strahlwinkel,
- Strahldauer,
- Luftdruck
- die Größe der bestrahlten Fläche,
- die Art der Profilometrie.

Die Rauheitswerte der Schmelzflächen, die mit einem Air-Flow Handy 2+ aus einem Abstand von 5 mm mit Clinpro Prophy Powder sowie Air-Flow Prophylaxis Powder bestrahlt wurden, zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Werten der Studie von Khalefa et al. [15], die auch Rinderzähne mit einem Air-Flow Handy 2+ aus 5 mm Abstand für 60 s bestrahlt haben. Die resultierende Schmelzrauheit nach PWS-Bearbeitung war bei beiden Pulvern vernachlässigbar. Die mit mechanischem

Abtastverfahren gemessenen Rauheitswerte waren, wie erwartet, deutlich niedriger als die Ergebnisse anderer Studien [13,58], die laserprofilometrisch gemessen haben (siehe Kap. 7.2.3).

Auch bei Banek-Himpler [126] zeigten sich bei der Verwendung eines Air-Flow-Gerätes bei 180 Patienten keine Schmelzschäden im Rasterelektronenmikroskop. Die Aufrauung der Zahnschmelzoberfläche nach Bestrahlung mit einem PWS ist laut verschiedener Studien so gering, dass sie klinisch nicht relevant ist und daher keiner Nachpolitur bedarf [13,15,58,112,115,125,181]. Im Gegensatz dazu haben Meier et al. [127] aber deutlich höhere Rauheitswerte nach PWS-Behandlung von Dentin- und Schmelzflächen mit NaHCO<sub>3</sub>-Pulver gemessen, obwohl die Strahldauer nur 30 Sekunden betrug. Die Autoren haben jedoch kleine Dentin- und Schmelzflächen menschlicher Zähne, die zuvor plan geschliffen und poliert wurden, durchgehend mit einem EMS Air-Flow S2-Gerät mit bestimmten Einstellungen (25 % Pulver, 50 % Luft und 25 % Wasser) bestrahlt. Der Strahlabstand betrug 3 mm und der Strahlwinkel 90°.

In Studien von Jost-Brinkmann [13], Nedwed [58] sowie Khalefa et al. [15] wurden, wie bei der vorliegenden Studie, jeweils eine Fläche von 2 mm x 7 mm bestrahlt. Zur gleichmäßigen Bestrahlung dieser Fläche, wurde jeder Prüfkörper zur Nachahmung der klinischen Situation unter Sichtkontrolle hin und her bewegt, so dass kein Areal durchgehend bestrahlt wurde. Bei vielen anderen Studien [14,16,106,113,114,117,118,127] wurde nur eine kleine Fläche bei konstanter Relation von Prüfkörper und PWS durchgehend bestrahlt. Das führt logischerweise zu einer höheren Rauheit und einem stärkeren Zahnhartsubstanzabtrag.

Nedwed [58] hat mit einem Prophyflex 2 keine signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Einstellungen gefunden. Jost-Brinkmann [13] fand teilweise Unterschiede in der Rauheit nach Bestrahlung mit verschiedenen Pulver- und Wassereinstellungen unter Einbeziehung von vier Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Clean-Jet, Air-Flow S1, Prophy-Jet-30 und Prophy-Unit). Eine Verwendung der Geräte mit einem reinen Pulver-Luft-Strahl ist nicht sinnvoll, weil bei versehentlichem Bestrahlen der oralen Weichgewebe Schmerzen entstehen.

In der vorliegenden Arbeit gab es auf Schmelzoberflächen zwischen Air-Flow Prophylaxis Powder (NaHCO<sub>3</sub>-Pulver) und Clinpro Prophy Powder (außer bei 1 mm Abstand) keine signifikanten Unterschiede. Das bestätigt auch die Studie von

Khalefa et al. [15], deren Untersuchungen allerdings nur bei einem Abstand von 5 mm durchgeführt wurden.

Jost-Brinkmann [13] beschränkte einen möglichen Verzicht auf eine Nachpolitur bestrahlter Schmelzoberflächen auf bestimmte Geräte (Air-Flow-S1, Prophy-Jet-30, Prophy-Unit). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen, dass die Politur mit Prophylaxepaste Cleanic keine signifikant glattere Oberfläche zur Folge hat als PWS-Bearbeitung (Abb. 6.1 und Tab. 6.1). In Anbetracht dieser Ergebnisse scheint die alleinige Pulver-Wasser-Bestrahlung der Schmelzflächen aus 5 mm Abstand mit einem Air-Flow Handy 2+ ohne Nachpolitur mit Prophylaxepasten hinsichtlich hinterlassener Rauheit akzeptabel zu sein, weil Nachpolitur mit Cleanic keine deutlich glatteren Oberflächen zur Folge hat. Bei gesundem Schmelz und unter Einhaltung des 5 mm Abstandes gibt es klinisch keinen Rauheitsunterschied zwischen den beiden Pulvern. Zudem erreichen PWS schwer zugängliche Bereiche, die kaum für Prophylaxepasten zugänglich sind.

Bei demineralisiertem Schmelz erzeugte Clinpro Prophy Powder signifikant glattere Oberflächen als Air-Flow Prophylaxis Powder, allerdings war demineralisierter Schmelz auch nach Bestrahlen mit Clinpro Prophy Powder deutlich rauer als unbestrahlte Flächen.

Die resultierende Rauheit hängt auch mit dem Demineralisationsgrad zusammen [115]. Nach nur 5 Sekunden Bestrahlung war die demineralisierte Fläche visuell mit Air-Flow Prophylaxis Powder fast komplett und mit Clinpro Prophy Powder teilweise eingebrochen. Eingebrochene Schmelzoberflächen sind rauer als nicht eingebrochene Areale. Das bestätigt auch die größere Standardabweichung der Rauheitswerte bei Clinpro Prophy Powder als bei Air-Flow Prophylaxis Powder (Abb. 6.2). In Studien, die die Auswirkung von PWS-Bearbeitung auf Initialkaries bzw. Demineralisierten Schmelz untersucht haben, wurde lediglich Pulver auf  $\text{NaHCO}_3$ -Basis verwendet [112,114,115,128].

Bei Dentin führte das Bestrahlen mit Clinpro Prophy Powder zu signifikant glatteren Oberflächen als mit Air-Flow Prophylaxis Powder (Abb. 6.4). Im Allgemeinen waren die Rauheitswerte bei Dentin deutlich höher als bei Schmelz (Abb. 6.5). Eine Bestrahlung von Dentin führt nach Schulte zu einer Erhöhung der Rauigkeit um das 10-fache des Ausgangswertes [112]. Nach den eigenen Ergebnissen erhöhte sich die Rauheit durch PWS-Behandlung sogar bis zu 20-fache bei zuvor polierten

Proben. Die Rauigkeitszunahme durch Politur mit Cleanic bzw. SuperPolish betrug nur das 2- bis 3-fache des Ausgangswertes. Im Gegensatz zu Schmelz ist der Rauheitsunterschied zwischen einer PWS-Behandlung von Dentin mit Air-Flow Prophylaxis Powder oder Clinpro Prophy Powder einerseits und einer Politur mit Prophylaxepasten andererseits aber sehr groß (Abb. 6.1 und 6.4). Von daher ist eine Nachpolitur freiliegender Wurzeloberflächen nach PWS-Anwendung indiziert.

### 7.3.2 Zahnhartsubstanzverlust

Jede Bearbeitung durch Politur oder PWS-Behandlung führte zu einem signifikanten Zahnhartsubstanzverlust, wobei der Abtrag bei gesundem Schmelz sehr gering und klinisch nicht relevant war. Überraschenderweise war der durchschnittliche Schmelzabtrag durch die Prophylaxepaste Cleanic geringer als in anderen Studien [13,15,58,127]. Nach Stookey und Schemehorn [162] steigt die Abrasion durch Politur bei einer Auflagekraft von ca. 3 N auf das 2,5- bis 3-fache gegenüber einer Auflagekraft von ca. 1 N an. Abrasionsunterschiede können auch durch die Verwendung verschiedener Produktionschargen der Paste begründet sein.

SuperPolish trug weniger Schmelz ab als Cleanic. Es gab aber hinsichtlich des Schmelzabtrages - außer zwischen SuperPolish und PWS-Bearbeitung aus 3 mm Abstand mit beiden Pulvern - keine signifikanten Unterschiede zwischen Politur und Pulver-Wasser-Bestrahlung. Der Schmelzabtrag binnen einer Minute ist für Prophylaxepasten ( $< 1 \mu\text{m}$ ) klinisch nicht relevant und als sehr gering und vernachlässigbar einzustufen.

Das Ausmaß des Schmelzabtrages nach PWS-Anwendung war geringer als in anderen Studien [13,58,127] und eher vernachlässigbar, weil in der vorliegenden Arbeit ein anderes PWS-Gerät (Air-Flow Handy 2+) verwendet wurde, das schonender ist als andere PWS-Geräte. Außerdem führt PWS-Bearbeitung zu einer verstärkten Abrasion, wenn Schmelzflächen durchgehend und ohne Bewegung von PWS bestrahlt werden. Meier et al. [127] berichteten von einer aggressiven Wirkung von Air-Flow S2-Gerät auf menschlichen Schmelz. Dabei wurden aber die kleinen Schmelzflächen 30 s lang aus 3 mm Abstand durchgehend und ohne Bewegung des PWS-Gerätes bestrahlt.

Bei demineralisiertem Schmelz wurde mit Air-Flow Prophylaxis Powder deutlich mehr Schmelzabtrag gemessen als mit Clinpro Prophy Powder (Abb. 6.7). Der starke Schmelzabtrag trotz geringer Strahlzeit (nur 5 Sekunden) betont die hohe Empfindlichkeit demineralisierter Schmelzflächen, die vermutlich mit ansteigendem Demineralisationsgrad zunimmt [115]. Es erscheint daher wichtig, den Opazitätsgrad des Schmelzes vor Pulver-Wasser-Bestrahlung zu bestimmen. Die Standardabweichung bei Clinpro Prophy Powder ist im Gegensatz zu Air-Flow Prophylaxis Powder sehr groß (Abb. 7.9) und deutet, wie beim Ra-Wert, auf einen teilweisen Schmelzeinbruch bei Clinpro Prophy Powder und kompletten Schmelzeinbruch bei Air-Flow Prophylaxis Powder hin. Trotzdem ist PWS-Bearbeitung der Schmelzflächen mit Initialkaries sogar mit Clinpro Prophy Powder mit dem Risiko des Schmelzeinbruchs verbunden. Schulte [112], Kontturi-Närhi et al. [114], Boyde [115] und Schiffner [128] raten ebenso von einer PWS-Behandlung plaquebedeckter sowie demineralisierter Schmelzflächen ab.

Clinpro Prophy Powder ist hinsichtlich Dentinabtrag bei PWS-Bearbeitung deutlich schonender als Air-Flow Prophylaxis Powder (Abb. 6.9). Dabei nahm der Dentinabtrag mit abnehmendem Abstand zu. Allerdings waren die Unterschiede bezüglich Dentinabtrag bei unterschiedlichen Abständen in der  $\text{NaHCO}_3$ -Gruppe signifikant und in der Gruppe mit Clinpro Prophy Powder nicht signifikant.

Ein Vergleich zu den nachfolgend zitierten Studien, die mit einem Pulver auf Natriumbikarbonatbasis erfolgten, bestätigt die schonendere Wirkung von PWS mit Clinpro Prophy Powder in einem Air-Flow Handy 2+ auf Wurzel- und Dentinflächen und zeigt, dass PWS-Bearbeitung freiliegender Dentinflächen mit einem Pulver auf  $\text{NaHCO}_3$ -Basis zu massivem Dentinverlust führt. Die unterschiedlichen Messwerte der Studien sind auf die unterschiedlichen Arbeitsparameter zurückzuführen (siehe Kap. 7.3.1). Dabei ist es ebenso wichtig, zu beachten, ob die Flächen bei konstanter Relation von Prüfkörper und PWS-Gerät durchgehend bestrahlt wurden, oder ob das PWS-Gerät zur Bestrahlung der gesamten Fläche hin- und herbewegt wurde.

Bei der Studie von Jost-Brinkmann [13] betrug der durchschnittlichen Rinderdentinabtrag binnen einer Minute mit dem Prophy-Jet-Gerät  $340 \mu\text{m}$  und mit dem Air-Flow-S1-Gerät  $641 \mu\text{m}$  aus 5 mm Abstand, wobei eine Fläche von 2 mm x 7 mm bestrahlt wurde. Petersilka und Mitarbeiter [119] haben durch PWS-Behandlung von Wurzeln menschlicher Zähne mit einem Prophy-Jet-Gerät und

einem Pulver auf Natriumbikarbonatbasis aus einem Abstand von 4 mm einen maximalen Dentinabtrag von ca. 473,5 µm innerhalb 20 Sekunden gemessen, wobei der Strahlkegel konstant auf eine Stelle gerichtet war.

Der von Meier et al. [127] gemessene Dentinabtrag betrug 149 µm nach 30 s PWS-Behandlung kleiner Dentinareale mit einem Air-Flow-S2-Gerät.

Mit Clinpro Prophy Powder, 5 mm Abstand und 60 s Strahlzeit, war der durchschnittliche Dentinabtrag in der vorliegenden Studie mit 37,7 µm deutlich geringer als bei Air-Flow Prophylaxis Powder (87,5 µm) und fast gleich wie bei Bearbeitung mit Cleanic-Paste (36,1 µm). Auch andere Autoren fanden, dass Clinpro Prophy Powder deutlich weniger abrasiv auf Wurzeloberflächen menschlicher Zähne wirkt als Airflow powder [18,130].

Tada et al. [131] haben im Jahr 2010 kleine Wurzelareale extrahierter Zähne mit PWS für 5 Sekunden aus 4 mm Abstand behandelt. Die durchschnittliche Defekttiefe bei einem Strahlwinkel von 90° betrug 110,5 µm bei NaHCO<sub>3</sub>-Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 100 µm und 63,3 µm bei Glycin-Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 100 µm. Der Abrasionswert von Glycin-Pulver (88,7 µm) mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 63 µm lag dazwischen. In einer weiteren Studie haben Tada et al. [132] im Jahr 2012 Wurzelentinfächen mit einem Air-Flow S2-Gerät für 5 Sekunden aus verschiedenen Abständen (2, 3, 4, 5 und 6 mm) und bei einem Winkel von 45° mit 3 verschiedenen Pulvern bestrahlt. Bei allen untersuchten Pulvern gab es nur bei einem Abstand von 6 mm einen signifikanten Unterschied. Die durchschnittliche Defekttiefe bei 6 mm Strahlabstand betrug 43,8 µm bei Classic-Pulver (NaHCO<sub>3</sub>-Pulver mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 65 µm), 38 µm bei PERIO (Glycin mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 25 µm) und 28 µm bei SOFT (Glycin mit einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 65 µm).

Clinpro Prophy Powder wirkt auch auf Restaurationsmaterialien schonender als NaHCO<sub>3</sub>-Pulver [141]. Engel et al. [142] zeigten, dass Clinpro Prophy Powder auf Bracketumfeldversiegler weniger abrasiv wirkt als NaHCO<sub>3</sub>-Pulver und dass der Schutzeffekt von Bracketumfeldversiegler bei Clinpro Prophy Powder langsamer verloren geht. Allerdings ist die Versiegler-schicht auch mit Clinpro Prophy Powder schon nach 5 s Bestrahlung nicht mehr vollständig.

Es muss aber bedacht werden, dass Air-Flow Prophylaxis Powder [ $\text{NaHCO}_3$ ] laut Wimmer [113] Beläge schneller von der Zahnfläche entfernt als Clinpro Prophy Powder. Allerdings bezieht sich diese Studie auf die Entfernung einer mit einer Polymerisationslampe ausgehärteten Bondschicht und nicht weicher Beläge.

Hosoya und Johnston [161] verglichen zwei PWS-Geräte verschiedener Hersteller und stellten fest, dass deren Wirkung deutlich geräteabhängig ist. Laut Petersilka et al. [133] beeinflusst einerseits das Design der Pulverkammer eines Gerätes die Menge an Pulver, die den Zahn bestrahlt. Auf der anderen Seite spielt die Düsenöffnung eine wichtige Rolle; der Pulverstrahl des Air-Flow Handy 2+ ist weniger fokussiert als der Strahlkegel des Prophyflex 3 und führte somit zu weniger Abrasion (pro Fläche) [24]. Da das Prophyflex 3 rauere Oberflächen als das Air-Flow Handy 2+ bei gleichem Pulver und bei gleichen Arbeitsparametern erzeugt [15,130], scheint der Einsatz vom Air-Flow Handy 2+ sinnvoller zu sein.

Bei freiliegenden Wurzeloberflächen sollte man aufgrund der geringeren Abrasivität Clinpro Prophy Powder verwenden und die Wurzeloberflächen aufgrund der resultierenden Rauheit mit einer sehr feinen Polierpaste (SuperPolish, CCS 40) nachpolieren.

## 8 Schlussfolgerungen

Eine regelmäßige Plaqueentfernung durch professionelle Zahnreinigung mit Pulver-Wasser-Bestrahlung kann ein wichtiger Beitrag zur Prävention von Karies und Gingivitis bei Multibracket-Patienten sein, ohne Bogen und Brackets zu beschädigen, und es ist eine Alternative zur Zahnreinigung mit Handinstrumenten und anschließender Politur mit Prophylaxepasten.

Clinpro Prophy Powder eignet sich in Kombination mit einem Air-Flow Handy 2+ als eine schonende Alternative zu Air-Flow Prophylaxis Powder zur regelmäßigen Plaquebeseitigung während einer kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen, besonders bei freiliegenden Wurzeloberflächen.

Zwischen Clinpro Prophy Powder- und Air-Flow Prophylaxis Powder gibt es keinen bedeutsamen Unterschied hinsichtlich Schmelzabtrag und -rauheit bei Pulver-Wasser-Bestrahlung mit dem Air-Flow Handy 2+. Air-Flow Prophylaxis Powder wirkt aber auf Dentin und Initialkaries deutlich abrasiver und hinterlässt eindeutig rauere Oberflächen als Clinpro Prophy Powder. Bei demineralisiertem Schmelz ist das Ausmaß des Schmelzverlustes nach PWS-Anwendung groß und es kommt mit beiden Pulvern zum Einbruch der Schmelzoberfläche, obwohl Clinpro Prophy Powder als Strahlmittel weniger abrasiv ist als Air-Flow Prophylaxis Powder.

Mit zunehmendem Abstand von Austrittsdüse und Zahnoberfläche resultieren weniger Zahnhartsubstanzabtrag und glattere Oberflächen, obwohl bei manchen Gruppen und besonders bei gesundem Schmelz der Unterschied nicht signifikant war. Ein Abstand von 5 mm von der Austrittsdüse und Zahnoberfläche stellt einen Kompromiss zwischen guter Reinigungskraft und weniger Abrasivität dar.

Zwischen pulpanahem und pulpaferem Dentin gibt es bezüglich Rauheit und Dentinabtrag infolge PWS-Behandlung keinen bedeutsamen Unterschied.

Zwischen den beiden Pulvern gibt es bei gesundem Schmelz keinen signifikanten Unterschied und eine Nachpolitur ist nicht zwingend erforderlich (siehe Kap. 7.3.1) und sollte gegebenenfalls mit einer Polierpaste wie SuperPolish erfolgen.

Schulte [112] und Kontturi-Närhi et al. [114] raten grundsätzlich bei Patienten mit Initialläsionen des Schmelzes von einer PWS-Verwendung [mit  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver] ab. Bei sichtbarer Initialkaries beziehungsweise bei Karies sollte man eine Pulver-Wasser-Bestrahlung wegen seiner Abrasivität vermeiden. Bei Verdacht auf

Initialkaries (schlechte Mundhygiene und hoher DMF-Index) sollte man bei PWS-Anwendung bedenken, dass sogar der Einsatz von Clinpro Prophy Powder bei PWS-Anwendung zu einem Schmelzeinbruch führen kann.

Bei freiliegenden Wurzeloberflächen sollte man auf jeden Fall auf Air-Flow Prophylaxis Powder verzichten und stattdessen Clinpro Prophy Powder verwenden, einen 5 mm Strahlabstand einhalten und die freiliegenden Wurzeloberflächen möglichst kurz bestrahlen. Eine Nachpolitur dieser Stellen mit einer feineren Prophylaxepaste mit niedriger Abrasivität wird aufgrund der deutlich raueren Oberfläche nach der Bestrahlung gegenüber der Politur empfohlen. Dabei eignen sich SuperPolish oder CCS 40 besser als Cleanic, weil Cleanic deutlich abrasiver auf Dentin wirkt als SuperPolish (Abb. 6.9). Bei der Parodontalbehandlung empfehlen Petersilka et al. eine Pulver-Wasser-Bestrahlung mit Clinpro Prophy Powder, weil dieses Pulver viel schonender auf Parodontalgewebe und auch auf Wurzelzement und -dentin wirkt als  $\text{NaHCO}_3$ -Pulver [18,120].

Aufgrund der Tatsache, dass längere Bestrahlungszeiten zu mehr Substanzabtrag führen, wird empfohlen, die klinische Anwendungsdauer durch das Anfärben der zu entfernenden Beläge zu reduzieren und die Zahnflächen gezielt zu bestrahlen.

## 9 Literaturverzeichnis

1. Ramaglia L, Sbordone L, Ciaglia RN, Barone A, Martina R. A clinical comparison of the efficacy and efficiency of two professional prophylaxis procedures in orthodontic patients. *Eur J Orthod.* 1999; 21: 423-428.
2. Tickle M, Kay EJ, Bearn D. Socio-economic status and orthodontic treatment need. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1999; 27: 413-418.
3. IDZ. IDZ Mundgesundheitsstudie zeigt: Deutsche Zahngesundheit zeigt Besserung. 42% der 8-9-jährigen Kinder naturgesund. *Zahnärztl Mitt.* 1990; 80: 1456-1462.
4. Phaphe S, Kallur R, Vaz A, Gajapurada J, Raddy S, Mattigatti S. To determine the prevalence rate of malocclusion among 12 to 14-year-old schoolchildren of urban Indian population (Bagalkot). *J Contemp Dent Pract.* 2012; 13: 316-321.
5. Diedrich P. Periodontal relevance of anterior crowding. *J Orofac Orthop.* 2000; 61: 69-79.
6. Staufer K, Landmesser H. Effects of crowding in the lower anterior segment - a risk evaluation depending upon the degree of crowding. *J Orofac Orthop.* 2004; 65: 13-25.
7. Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R, Gehrke T. Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen und die Entwicklung von Karies, insbesondere Initiaalläsionen. *Inf Orthod Kieferorthop.* 1996; 28: 327-336.
8. Tanner AC, Sonis AL, Lif Holgerson P, Starr JR, Nunez Y, Kressirer CA, Paster BJ, Johansson I. White-spot lesions and gingivitis microbiotas in orthodontic patients. *J Dent Res.* 2012; 91: 853-858.
9. Mitchell L. Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliances - an overview. *Br J Orthod.* 1992; 19: 199-205.
10. Axelsson P, Nyström B, Lindhe J. The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol.* 2004; 31: 749-757.
11. Fath S. Die professionelle Zahnreinigung. Praktisches Vorgehen und Abrechnungstipps. *Prophylaxedialog.* 1998; 1: 16-18.
12. Jost-Brinkmann P-G, Schiller RA, Jost-Brinkmann B. Untersuchung zur Häufigkeit transitorischer Bakteriämien durch Zahnreinigung mittels Pulverwasserstrahlgeräten. *Quintessenz.* 1994; 45: 1677-1687.
13. Jost-Brinkmann P-G. Wirkungen und Nebenwirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei regelmäßiger Anwendung in der Orthodontie. Aachen, Verlag Mainz. 1997.

14. Mahlendorff M. Untersuchung über die Abrasion und Oberflächenveränderung auf Zahnschmelz nach Anwendung von Hilfsmitteln der mechanischen Belagentfernung: Vergleich von Gummikelch und Polierpaste mit den Abrasivstrahlern AIR-FLOW und PROPHY- JET. Zahnmed Diss. Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 1985.
15. Khalefa M, Finke C, Jost-Brinkmann P-G. Effects of air-polishing devices with different abrasives on bovine primary and second teeth and deciduous human teeth. *J Orofac Orthop.* 2013; 74: 370-380.
16. Agger MS, Hörsted-Bindslev P, Hovgaard O. Abrasiveness of an air-powder polishing system on root surfaces in vitro. *Quintessence Int.* 2001; 32: 407-411.
17. Technisches Produktprofil Clinpro Prophy Powder. 3M ESPE, 2007.
18. Petersilka GJ, Bell M, Häberlein I, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. *J Clin Periodontol.* 2003; 30: 9-13.
19. Jost-Brinkmann P-G, Radlanski RJ. Oberflächenbeeinflussung kieferorthopädischer Brackets durch Pulver-Wasserstrahlgeräte. *Quintessenz.* 1996; 47: 219-227.
20. Jatania A, Shivalinga BM, Kiran J. Root resorption after orthodontic treatment: a review. *Int J Orthod Milwaukee.* 2012; 23: 45-49.
21. Wang Q, Chen W, Smales RJ, Peng H, Hu X, Yin L. Apical root resorption in maxillary incisors when employing micro-implant and J-hook headgear anchorage: A 4-month radiographic study. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci.* 2012; 32: 767-773.
22. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung, 6. Auflage, Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013, pp 16-19.
23. Marsh PD. Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. *Adv Dent Res.* 1994; 8: 263-271.
24. Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjørndal L, Thylstrup A. Relationship between external and histologic features of progressive stages of caries in the occlusal fossa. *Caries Res.* 1995; 29: 243-250.
25. Ekstrand KR, Martignon S, Ricketts DJ, Qvist V. Detection and activity assessment of primary coronal caries lesions: a methodologic study. *Oper Dent.* 2007; 32: 225-235.
26. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA, Qvist V, Schou S. Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res.* 1998; 32: 247-254.
27. White DJ. Dental calculus: recent insights into occurrence, formation, prevention, removal and oral health effects of supragingival and subgingival deposits. *Eur J Oral Sci.* 1997; 105: 508-522.

28. Friel H. Neuste Ergebnisse: Die Mundgesundheit der Deutschen. Zahnärztl Mitt. 1999; 89: 1486-1492.
29. Micheelis W, Schiffner U. Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Köln, Deutscher Zahnärzte Verlag, 2006.
30. Duncker M. Die Bedeutung der Zahnplaque als ätiopathogenetischer Faktor für die Entwicklung kariöser Läsionen und den Verlust parodontalen Gewebes während kieferorthopädischer Behandlungsmaßnahmen. Prakt Kieferorthop. 1990; 4: 233-238.
31. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. Am J Orthod. 1982; 82: 62-67.
32. Arici S, Alkan A, Arici N. Comparison of different toothbrushing protocols in poor-toothbrushing orthodontic patients. Eur J Orthod. 2007; 29: 488-492.
33. Heintze SD. Kariesprophylaxe nach Maß - über den professionellen Umgang mit Speicheltests (I). Quintessenz J. 1993; 23: 449-461.
34. Willmot DR. White lesions after orthodontic treatment: does low fluoride make a difference? J Orthod. 2004; 31: 235-242.
35. Meyer-Lückel H, Paris S. Kariesinfiltration. Zahnmed up2date. 2011; 4: 327-328.
36. Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand KR. Karies - Wissenschaft und klinische Praxis. 1. Auflage, Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2012, pp 43-44.
37. Naranjo AA, Triviño ML, Jaramillo A, Betancourth M, Botero JE. Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2006; 130: e17-22.
38. Diedrich P, Rudzki-Janson I, Wehrbein H, Fritz U. Effects of orthodontic bands on marginal periodontal tissues. A histologic study on two human specimens. J Orofac Orthop. 2001; 62: 146-156.
39. Kim SH, Choi DS, Jang I, Cha BK, Jost-Brinkmann P-G, Song JS. Microbiologic changes in subgingival plaque before and during the early period of orthodontic treatment. Angle Orthod. 2012; 82: 254-260.
40. Freundorfer A, Purucker P, Miethke R-R. Kieferorthopädische Behandlungen können ohne professionelle Mundhygiene zu dauerhaften Veränderungen der subgingivalen Plaqueflora führen. Prakt Kieferorthop. 1993; 7: 187-200.
41. Miethke R-R, Bernimoulin JP. Effects of bands and brackets on the marginal periodontium. Fortschr Kieferorthop. 1988; 49: 160-169.

42. Semrau K. Die Auswirkung festsitzender kieferorthopädischer Geräte auf das marginale Parodont - Ergebnisse einer klinischen und mikrobiologischen Untersuchung. Zahnmed Diss. Freie Universität Berlin, 1986.
43. Choi DS, Cha BK, Jost-Brinkmann P-G, Lee SY, Chang BS, Jang I, Song JS. Microbiologic changes in subgingival plaque after removal of fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod.* 2009; 79: 1149-1155.
44. Opsahl Vital S, Haignere-Rubinstein C, Lasfargues JJ, Chaussain C. Caries risk and orthodontic treatment. *Int Orthod.* 2010; 8: 28-45.
45. Ngom PI, Benoist HM, Soulier-Peigue D, Niang A. Reciprocal relationships between orthodontics and periodontics: relevance of a synergistic action. *Orthod Fr.* 2010; 81: 41-58.
46. Boyd RL. Longitudinal evaluation of a system for self-monitoring plaque control effectiveness in orthodontic patients. *J Clin Periodontol.* 1983; 10: 380-388.
47. Zimmer B. Systematic decalcification prophylaxis during treatment with fixed appliances. *J Orofac Orthop.* 1999; 60: 205-214.
48. Hellwig E. Die Prävention für jedes Lebensalter. *Zahnärztliche Mitteilungen.* 1997; 87: 518-528.
49. Axelsson P, Nyström B, Lindhe J. The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol.* 2004; 31: 749-757.
50. Bellini HT, Arneberg P, von der Fehr FR. Oral hygiene and caries. A review. *Acta Odontol Scand.* 1981; 39: 257-265.
51. Ten Cate JM. Fluorides in caries prevention and control: empiricism or science. *Caries Res.* 2004; 38: 254-257.
52. Lovrov S, Hertrich K, Hirschfelder U. Enamel demineralization during fixed orthodontic treatment - incidence and correlation to various oral-hygiene parameters. *J Orofac Orthop.* 2007; 68: 353-363.
53. Stecksén-Blicks C, Holgerson PL, Twetman S. Caries risk profiles in two-year-old children from northern Sweden. *Oral Health Prev Dent.* 2007; 5: 215-221.
54. Riziwaguli A, Liu JY, Ma YR, Zou J. Pit and fissure sealant for caries prevention in 457 children in Uygur city: results of 2-year follow-up. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2014; 23: 201-203.
55. Heintze SD, Finke C, Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R. Individualprophylaxe in der Kieferorthopädie. Berlin, Quintessenz, 1992.

56. Hellwege KD. Die Praxis der professionellen Zahnreinigung & Ultraschall-Scaling: eine Arbeitsanleitung für den Zahnarzt und sein Mitarbeiterteam. 3. Auflage, Stuttgart: Georg Thime Verlag, 2007.
57. Lutz F, Imfeld T. Advances in abrasive technology--prophylaxis pastes. *Compend Contin Educ Dent.* 2002; 23: 61-64.
58. Nedwed V. Untersuchung zu den Wirkungen eines Pulver-Wasser-Strahlgerätes auf Zahnschmelz und verschiedene Füllungs- und Befestigungsmaterialien in der Kieferorthopädie. Eine In-vitro-Studie zum PROPHYflex 2. Zahnmed Diss. Humboldt-Universität zu Berlin, 2003.
59. Yurdagüven H, Aykor A, Ozel E, Sabuncu H, Soyman M. Influence of a prophylaxis paste on surface roughness of different composites, porcelain, enamel and dentin surfaces. *Eur J Dent.* 2012; 6: 1-8.
60. Zimmer S, Barthel CR, Coffman L, Raab WH, Hefferren JJ. Evaluation of dentin abrasion during professional tooth cleaning in an in vitro model. *J Clin Periodontol.* 2005; 32: 947-950.
61. Van Rijkom HM, Truin GJ, Van 't Hof MA. A meta-analysis of clinical studies on the caries-inhibiting effect of chlorhexidine treatment. *J Dent Res.* 1996; 75: 790-795.
62. Zhang Q, van Palenstein Helderma WH, van't Hof MA, Truin GJ. Chlorhexidine varnish for preventing dental caries in children, adolescents and young adults: a systematic review. *Eur J Oral Sci.* 2006; 114: 449-455.
63. Cappelli D, Holt SC, Singer RE, Pickrum HM, Ebersole JL. Effects of 0.12% chlorhexidine gluconate on experimental gingivitis in non-human primates: clinical and microbiological alterations. *Oral Dis.* 2000; 6: 124-131.
64. Lin S, Zuckerman O, Weiss EI, Mazor Y, Fuss Z. Antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow release device to disinfect dentinal tubules. *J Endod.* 2003; 29: 416-418.
65. Heintze S. Individualprophylaxe bei Multiband-Patienten (I, II, III, IV). *Quintessenz J.* 1994; 24: 245-252, 339-348, 417-423, 503-512.
66. Nelson-Filho P, Valdez RM, Andruccioli MC, Saraiva MC, Feres M, Sorgi CA, Faccioli LH. Gram-negative periodontal pathogens and bacterial endotoxin in metallic orthodontic brackets with or without an antimicrobial agent: an in-vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; 140: e281-287.
67. Øgaard B, Larsson E, Henriksson T, Birkhed D, Bishara SE. Effects of combined application of antimicrobial and fluoride varnishes in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; 120: 28-35.

68. Najafi MH, Taheri M, Mokhtari MR, Forouzanfar A, Farazi F, Mirzaee M, Ebrahiminik Z, Mehrara R. Comparative study of 0.2% and 0.12% digluconate chlorhexidine mouth rinses on the level of dental staining and gingival indices. *Dent Res J (Isfahan)*. 2012; 9: 305-308.
69. Slot D, Berchier C, Addy M, Van der Velden U, Van der Weijden G. The efficacy of chlorhexidine dentifrice or gel on plaque, clinical parameters of gingival inflammation and tooth discoloration: a systematic review. *Int J Dent Hyg*. 2014; 12: 25-35.
70. Herrera D. Chlorhexidine mouthwash reduces plaque and gingivitis. *Evid Based Dent*. 2013; 14: 17-18.
71. Van Strydonck DA, Slot DE, Van der Velden U, Van der Weijden F. Effect of a chlorhexidine mouthrinse on plaque, gingival inflammation and staining in gingivitis patients: a systematic review. *J Clin Periodontol*. 2012; 39: 1042-1055.
72. Weiss M, Weiss J, Müller-Hartwich R, Meier B, Jost-Brinkmann P-G. Chlorhexidine in cleft lip and palate patients with multibracket appliances. Results of a prospective study on the effectiveness of two different chlorhexidine preparations in cleft lip and palate patients with multibracket appliances. *J Orofac Orthop*. 2005; 66: 349-362.
73. Jentsch H, Eckert FR, Eschrich K, Stratul SI, Kneist S. Antibacterial action of chlorhexidine/thymol containing varnishes in vitro and in vivo. *Int J Dent Hyg*. 2014; 12: 168-173.
74. Øgaard B, Larsson E, Glans R, Henriksson T, Birkhed D. Die antimikrobielle Wirkung eines chlorhexidin-thymollackes (cervitec®) bei kieferorthopädischen Patienten mit festsitzender Apparatur. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1997; 58: 206-213.
75. Sekino S, Ramberg P. The effect of a mouth rinse containing phenolic compounds on plaque formation and developing gingivitis. *J Clin Periodontol*. 2005; 32: 1083-1088.
76. Neely AL. Essential oil mouthwash (EOMW) may be equivalent to chlorhexidine (CHX) for long-term control of gingival inflammation but CHX appears to perform better than EOMW in plaque control. *J Evid Based Dent Pract*. 2012; 12: 69-72.
77. Charles CH, Mostler KM, Bartels LL, Mankodi SM. Comparative antiplaque and antigingivitis effectiveness of a chlorhexidine and an essential oil mouthrinse: 6-month clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2004; 31: 878-884.
78. Cortelli SC, Cortelli JR, Shang H, McGuire JA, Charles CA. Long-term management of plaque and gingivitis using an alcohol-free essential oil containing mouthrinse: a 6-month randomized clinical trial. *Am J Dent*. 2013; 26: 149-155.
79. Ten Cate JM. Fluorides in caries prevention and control: empiricism or science. *Caries Res*. 2004; 38: 254-257.

80. Kuba Y, Miyazaki K, Ichiki K, Kawazoe H, Motokawa W. Clinical application of visible light-cured fluoride-releasing sealant to non-etched enamel surface of partially erupted permanent molars. *J Clin Pediatr Dent.* 1992; 17: 3-9.
81. Palmer C, Wolfe SH. Position of the American Dietetic Association: the impact of fluoride on health. *J Am Diet Assoc.* 2005; 105: 1620-1628.
82. Oganessian E, Lencová E, Broukal Z. Is systemic fluoride supplementation for dental caries prevention in children still justifiable? *Prague Med Rep.* 2007; 108: 306-314.
83. Marinho VC, Higgins JP, Sheiham A, Logan S. Fluoride toothpastes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev.* 2003.
84. Mengel R, Wissing E, Schmitz-Habben A, Flores-de-Jacoby L. Plaque- und Gingivitis-Hemmung durch Aminfluorid/Zinnfluorid (Meridol) und Natriumfluorid. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1995; 50: 643-648.
85. Øgaard B, Alm AA, Larsson E, Adolfsson U. A prospective, randomized clinical study on the effects of an amine fluoride/stannous fluoride toothpaste/mouthrinse on plaque, gingivitis and initial caries lesion development in orthodontic patients. *Eur J Orthod.* 2006; 28: 8-12.
86. Benson PE, Parkin N, Dyer F, Millett DT, Furness S, Germain P. Fluorides for the prevention of early tooth decay (demineralised white lesions) during fixed brace treatment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013; 12: p. 12.
87. Marinho VC, Higgins JP, Logan S, Sheiham A. Fluoride varnishes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev.* 2002.
88. Demito C, Vivaldi-Rodrigues G, Ramos A, Bowman S. The efficacy of a fluoride varnish in reducing enamel demineralization adjacent to orthodontic brackets: an in vitro study. *Orthod Craniofac Res.* 2004; 7: 205-210.
89. Øgaard B, Larsson E, Henriksson T, Birkhed D, Bishara SE. Effects of combined application of antimicrobial and fluoride varnishes in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001; 120: 28-35.
90. Schmit JL, Staley RN, Wefel JS, Kanellis M, Jakobsen JR, Keenan PJ. Effect of fluoride varnish on demineralization adjacent to brackets bonded with RMGI cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002; 122: 125-134.
91. IDZ. Epidemiologie-Studie des IDZ. Die Mundgesundheit in den neuen Bundesländern. *Zahnärztl Mitt.* 1993; 83: 20-26.
92. Einwag J, Pieper K. *Praxis der Zahnheilkunde: Kinderzahnheilkunde.* München, Jena: Urban & Fischer; 2002: 77–119.

93. Bohannon HM. Caries distribution and the case for sealants. *J Public Health Dent.* 1983; 43: 200-204.
94. Griffin SO, Oong E, Kohn W, Vidakovic B, Gooch BF, Bader J, Clarkson J, Fontana MR, Meyer DM, Rozier RG, Weintraub JA, Zero DT. The effectiveness of sealants in managing caries lesions. *J Dent Res.* 2008; 87: 169-174.
95. Pieper K. Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Bonn: Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege, P. 136. .
96. Tubert-Jeannin S, Riordan PJ. Association of caries experience in 12-year-old children in Heidelberg, Germany and Montpellier, France with different caries preventive measures. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2003; 31: 75-76.
97. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955; 34: 849-853.
98. Gwinnett AJ. Scientific rationale for sealant use and technical aspects of application. *J Dent Educ.* 1984; 48: 56-59.
99. Koch MJ, Staehle HJ. Experimentelle Untersuchungen zur Reinigung des Fissurensystems vor Versiegelung. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1993; 47: 764-767.
100. Strand GV, Raadal M. The efficiency of cleaning fissures with an air-polishing instrument. *Acta Odontol Scand.* 1988; 46: 113-117.
101. Black R. Technic for non-mechanical preparation of cavities and prophylaxis. *J Am Dent Assoc.* 1945; 32: 955-965.
102. Freedman G. Microabrasive technologies: Advanced hard tissue preparation techniques. *Esthet Dent Update.* 1994; 5: 13-15.
103. Graumann SJ, Sensat ML, Stoltenberg JL. Air polishing: a review of current literature. *J Dent Hyg.* 2013; 87: 173-180.
104. Gutmann ME. Air polishing: a comprehensive review of the literature. *J Dent Hyg.* 1998; 72: 47-56.
105. Eriksen HM, Nordbo H. Extrinsic discoloration of teeth. *J Clin Periodontol.* 1978; 5: 229-236.
106. Gerbo LR, Barnes CM, Leinfelder KF. Applications of the air-powder polisher in clinical orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993; 103: 71-73.

107. Barnes CM, Russell CM, Gerbo LR, Wells BR, Barnes DW. Effects of an air-powder polishing system on orthodontically bracketed and banded teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990; 97: 74-81.
108. Petersilka GJ, Flemmig F. Subgingivale Wurzeloberflächenbearbeitung mit Schall- und Ultraschallscalern. *Parodontologie.* 1999; 3: 233-244.
109. Flemmig TF, Petersilka GJ, Mehl A, Hickel R, Klaiber B. The effects of working parameters on root removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. *J Periodontol.* 1998; 25: 158-163.
110. Flemmig TF, Petersilka GJ, Mehl A, Hickel R, Klaiber B. Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. *J Periodontol.* 1998; 69: 547-553.
111. Flemmig TF, Petersilka GJ, Mehl A, Rüdiger S, Hickel R, Klaiber B. Working parameters of a sonic scaler influencing substance removal in vitro. *Clin Oral Investig.* 1997; 1: 55-60.
112. Schulte A. Auswirkungen von Wasser-Pulverstrahl-Geräten auf Zahnhartgewebe und Restaurationsmaterialien. *ZMK.* 2003; 19: 18-23.
113. Wimmer R. Effizienz dreier Prophylaxepulver zur Belagsentfernung. *Zahnmed Diss., Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,* 2012.
114. Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H. Effects of airpolishing on dental plaque removal and hard tissues as evaluated by scanning electron microscopy. *J Periodontol.* 1990; 61: 334-338.
115. Boyde A. Airpolishing effects on enamel, dentine, cement and bone. *Br Dent J.* 1984; 156: 287-291.
116. Bester SP, de Wet FA, Nel JC, Driessen CH. The effect of airborne particle abrasion on the dentin smear layer and dentin: an in vitro investigation. *Int J Prosthodont.* 1995; 8: 46-50.
117. De Boever JA, Vande Velde F. Pulverstrahlgeräte zur Belagsentfernung. Eine klinische und rasterelektronenmikroskopische Studie. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1985; 40: 725-729.
118. Topoll H, Horvath G, Lange DE. Über die Oberflächenbeschaffenheit des Zahnschmelzes, des Wurzelzementes und des Dentins nach Einwirkung von Ultraschall und nach Abstrahlung mit einem Wasser-Natriumbikarbonat-Gemisch. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1985; 40: 755-758.
119. Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. Root defects following air polishing. *J Clin Periodontol.* 2003; 30: 165-170.
120. Petersilka G, Faggion CM Jr, Stratmann U, Gerss J, Ehmke B, Haerberlein I, Flemmig TF. Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol.* 2008; 35: 324-332.

121. Petersilka GJ, Steinmann D, Häberlein I, Heinecke A, Flemmig TF. Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive airpolishing powder. *J Clin Periodontol.* 2003; 30: 328-333.
122. Petersilka GJ, Tunkel J, Barakos K, Heinecke A, Haberlein I, Flemmig TF. Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder. *J Periodontol.* 2003; 74: 307-311.
123. Flemmig TF, Arushanov D, Daubert D, Rothen M, Mueller G, Leroux BG. Randomized controlled trial assessing efficacy and safety of glycine powder air polishing in moderate-to-deep periodontal pockets. *J Periodontol.* 2012; 83: 444-452.
124. Agrawal A, Shigli A. Comparison of six different methods of cleaning and preparing occlusal fissure surface before placement of pit and fissure sealant: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2012; 30: 51-55.
125. Gerbo LR, Lacefield WR, Barnes CM, Russell CM. Enamel roughness after air-powder polishing. *Am J Dent.* 1993; 6: 96-98.
126. Banek-Himpler MK. Die Auswirkungen von Pulverstrahlgeräten zur Zahnreinigung auf die Oberfläche von Zahnschmelz und Gingiva. Eine klinisch-experimentelle Untersuchung am Beispiel des Pulverstrahlgerätes Air-Flow der Firma EMS. Med Diss. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1987.
127. Meier A, Stassinakis A, Hugo B, Hotz P. Substanzverlust und Oberflächenrauigkeit nach Bearbeitung mit Prophylaxeinstrumenten in vitro. *Acta Med Dent Helv.* 2000; 5: 31–36.
128. Schiffner U. Die Einwirkung eines abrasiven Pulverstrahles auf artifiziiell demineralisierten Schmelz. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1992; 47: 778-781.
129. Atkinson DR, Cobb CM, Killoy WJ. The effect of an air-powder abrasive system on in vitro root surfaces. *J Periodontol.* 1984; 55: 13-18.
130. Pelka M, Trautmann S, Petschelt A, Lohbauer U. Influence of air-polishing devices and abrasives on root dentin - an in vitro confocal laser scanning microscope study. *Quintessence Int.* 2010; 41: e141-148.
131. Tada K, Kakuta K, Ogura H, Sato S. Effect of particle diameter on air polishing of dentin surfaces. *Odontology.* 2010; 98: 31-36.
132. Tada K, Wiroj S, Inatomi M, Sato S. The characterization of dentin defects produced by air polishing. *Odontology.* 2012; 100: 41-46.
133. Petersilka GJ, Schenck U, Flemmig TF. Powder emission rates of four air polishing devices. *J Clin Periodontol.* 2002; 29: 694-698.

134. Weaks LM, Lescher NB, Barnes CM. Clinical evaluation of the Prophy-Jet as an instrument for routine removal of tooth stain and plaque. *J Periodontol.* 1984; 55: 486-488.
135. Lavigne CK, Charon JA, Joachim F, Suzuki JB. Air polishing instruments. Review of literature. *J Parodontol.* 1989; 8: 383-393.
136. Mishkin DJ, Engler WO, Javed T, Darby TD, Cobb RL, Coffman MA. A clinical comparison of the effect on the gingiva of the Prophy-Jet and the rubber cup and paste techniques. *J Periodontol.* 1986; 57: 151-154.
137. Horning GM, Cobb CM, Killoy WJ. Effect of an air-powder abrasive system on root surfaces in periodontal surgery. *J Clin Periodontol.* 1987; 14: 213-220.
138. Kozlovsky A, Artzi Z, Nemcovsky CE, Hirshberg A. Effect of air-polishing devices on the gingiva: histologic study in the canine. *J Clin Periodontol.* 2005; 32: 329-334.
139. Barnes CM, Hayes EF, Leinfelder KF. Effects of an airabrasive polishing system on restored surfaces. *Gen Dent.* 1987 ; 35: 186-189.
140. Reel DC, Abrams H, Gardner SL, Mitchell RJ. Effect of a hydraulic jet prophylaxis system on composites. *J Prosthet Dent.* 1989; 61: 441-445.
141. Pelka MA, Altmaier K, Petschelt A, Lohbauer U. The effect of air-polishing abrasives on wear of direct restoration materials and sealants. *J Am Dent Assoc.* 2010; 141: 63-70.
142. Engel S, Jost-Brinkmann P-G, Spors CK, Mohammadian S, Müller-Hartwich R. Abrasive effect of air-powder polishing on smoothsurface sealants. *J Orofac Orthop.* 2009; 70: 363-370.
143. Franke F. Die Wirkung verschiedener Prophylaxeinstrumente auf die Oberfläche von galvanokeramischen Kronen. Med Diss., Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2004.
144. Wilmes B, Vali S, Drescher D. In-vitro study of surface changes in fixed orthodontic appliances following air polishing with Clinpro Prophy and Air-Flow. *J Orofac Orthop.* 2009; 70: 371-384.
145. Rawson RD, Nelson BN, Jewell BD, Jewell CC. Alkalosis as a potential complication of air polishing systems. A pilot study. *Dent Hyg (Chic).* 1985; 59: 500-503.
146. Snyder JA, McVay JT, Brown FH, Stoffers KW, Harvey RC, Houston GD, Patrissi GA. The effect of air abrasive polishing on blood pH and electrolyte concentrations in healthy mongrel dogs. *J Periodontol.* 1990; 61: 81-86.
147. EMS AIR-FLOW Handy 2, Bedienungsanleitung.
148. Gutmann MS, Marker VA, Gutmann JL. Restoration surface roughness after air-powder polishing. *Am J Dent.* 1993; 6: 99-102.

149. Finlayson RS, Stevens FD. Subcutaneous facial emphysema secondary to use of the Cavi-Jet. *J Periodontol.* 1988; 59: 315-317.
150. Liebenberg WH, Crawford BJ. Subcutaneous, orbital, and mediastinal emphysema secondary to the use of an air-abrasive device. *Quintessence Int.* 1997; 28: 31-38.
151. EMS AIR-FLOW S1, Bedienungsanleitung.
152. Seemann R, Bizhang M, Kluck I, Loth J, Roulet JF. A novel in vitro microbial-based model for studying caries formation--development and initial testing. *Caries Res.* 2005; 39: 185-190.
153. DIN-Normen: DIN 4768 Ermittlung der Rauheitskenngrößen Ra, Rz, Rmax mit elektrischen Tastschnittgeräten. Begriffe, Meßbedingungen. In: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN Taschenbuch 1. Mechanische Technik. Grundnormen. Beuth Verlag GmbH: Berlin, Wien, Zürich 1995, 295-297.
154. Bodschwinn H, Hillmann W. Oberflächenmeßtechnik mit Tastschnittgeräten in der industriellen Praxis. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH: Berlin, Köln 1992, p. 63.
155. Trampisch HJ, Windeler J. Medizinische Statistik. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag; 2000, p 59.
156. Putt MS, Kleber CJ, Muhler JC. A comparison of the polishing properties of human and bovine enamel. *J Dent Res.* 1980; 59: p. 1177.
157. Nikaido T, Yamada T, Koh Y, Burrow MF, Takatsu T. Effect of air-powder polishing on adhesion of bonding systems to tooth substrates. *Dent Mater.* 1995; 11: 258-264.
158. Miethke R-R. Zahnbreiten und Zahnbreitenkorrelationen. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1973; 28: 1078-1084.
159. Pelka M, Krämer N, Kunzelmann KH. Oberflächenveränderungen verschiedener Modellmaterialien durch mechanische Profilometrie. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1998; 48: 488-491.
160. Lutz F, Sener B, Imfeld T, Barbakow F, Schüpbach P. Self-adjusting abrasiveness: a new technology for prophylaxis pastes. *Quintessence Int.* 1993; 24: 53-63.
161. Hosoya Y, Johnston JW. Evaluation of various cleaning and polishing methods on primary enamel. *J Pedod.* 1989; 13: 253-269.
162. Stookey GK, Schemehorn BR. A method for assessing the relative abrasion of prophylaxis materials. *J Dent Res.* 1979; 58: 588-592.
163. Schroeder HE. *Orale Strukturbiologie.* 4. Auflage, Stuttgart: Thieme; 1999; 66,68-69,172.

164. Paris S, Meyer-Lückel H. Masking of labial enamel white spot lesions by resin infiltration--a clinical report. *Quintessence Int.* 2009; 40: 713-718.
165. Mellberg JR. Hard-tissue substrates for evaluation of cariogenic and anti-cariogenic activity in situ. *J Dent Res.* 1992; 71: 913-919.
166. Whitehurst VE, Stookey GK, Muhler JC. Studies concerning the cleaning, polishing, and therapeutic properties of commercial prophylactic pastes. *J Oral Ther Pharmacol.* 1967; 4: 181-191.
167. Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A. The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments. *J Dent.* 2007; 35: 773-777.
168. Krifka S, Börzsönyi A, Koch A, Hiller KA, Schmalz G, Friedl KH. Bond strength of adhesive systems to dentin and enamel--human vs. bovine primary teeth in vitro. *Dent Mater.* 2008; 24: 888-894.
169. Fonseca RB, Haiter-Neto F, Carlo HL, Soares CJ, Sinhoreti MA, Puppim-Rontani RM, Corrêa-Sobrinho L. Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. *Arch Oral Biol.* 2008; 53: 1023-1029.
170. Gente M, Sondermann U, Lehmann KM. Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient von Rinderschmelz und Rinderdentin. *Dtsch Zahnärztl Z.* 1985; 40: 488-490.
171. Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. *J Dent Res.* 1983; 62: 1076-1081.
172. Levinkind M, Vandernoot TJ, Elliott JC. Electrochemical impedance characterization of human and bovine enamel. *J Dent Res.* 1990; 69: 1806-11.
173. Meurman JH, Torkko H, Hirvonen J, Koskinen J, Rytömaa I. Application of a new mechanical properties microprobe to study hardness of eroded bovine enamel in vitro. *Scand J Dent Res.* 1990; 98: 568-570.
174. Thompson MA, Drummond JL, BeGole EA. Bond strength analysis of custom base variables in indirect bonding techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133: 15-20.
175. Schneider F. Sekundärkariesinhibition in einem biofilmbasierten In-vitro-Karies-Modell. *Charité – Universitätsmedizin Berlin*, 2008.
176. Van der Mei HC, White D, Cox E, Geertsema-Doornbusch G, Busscher H. Bacterial detachment from salivary conditioning films by dentifrice supernates. *J Clin Dent.* 2002; 13: 44-49.
177. Cohen J, Featherstone JD, Le CQ, Steinberg D, Feuerstein O. Effects of CO2 laser irradiation on tooth enamel coated with biofilm. *Lasers Surg Med.* 2014; 46: 216-223.

178. Lenzi T, Hesse D, Guglielmi C, Anacleto K, Raggio DP. Shear bond strength of two adhesive materials to eroded enamel. *J Contemp Dent Pract.* 2013; 14: 700-703.
179. Buskes J A, Christoffersen J, Arends J. Lesion formation and lesion remineralization in enamel under constant composition conditions. A new technique with applications. *Caries Res.* 1985; 19: 490-496.
180. Arends J, Ten Bosch JJ. Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res.* 1992; 71: 924-928.
181. Willmann DE, Norling BK, Johnson WN. A new prophylaxis instrument: effect on enamel alterations. *J Am Dent Assoc.* 1980; 101: 923-925.
182. Kodaka T, Debari K, Yamada M, Kuroiwa M. Correlation between microhardness and mineral content in sound human enamel (short communication). *Caries Res.* 1992; 26: 139-141.
183. Ripa LW, Gwinnett AJ, Buonocore MG. The "prismless" outer layer of deciduous and permanent enamel. *Arch Oral Biol.* 1966; 11: 41-48.
184. Petersilka G, Faggion CM, Stratmann U, Gerst J, Ehmke B, Haeberlein I, Flemmig TF. Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol.* 2008; 35: 324-332.
185. DIN-Normen: DIN 4768 Ermittlung der Rauheitskenngrößen Ra, Rz, Rmax mit elektrischen Tastschnittgeräten. Begriffe, Meßbedingungen. In: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN Taschenbuch 1. Mechanische Technik. Grundnormen. Beuth Verlag GmbH.

## 10 Anhang

### 10.1 Materialliste

1. Air-Flow® Handy 2+, Elektro Medical Systems, München
2. Clinpro™ Prophy™ Powder, 3M ESPE AG, Seefeld [Pulver-Charge: 221547]
3. Prophylaxis powder, Air-Flow, lemon taste, EMS, München [Pulver-Charge: 0510164]
4. Knochenfräser nach Lindemann 166 RF, Hager und Meisinger GmbH, Düsseldorf
5. Diamant-Walze, 879/012, Komet, Lemgo
6. Zweikomponenten-Polyurethangießmasse: Komponente A (Typ SG 130), Komponente B (Typ PUR 10), Füllstoff (Typ F-B), Ebalta Kunststoff GmbH, Rothenburg/Tauber
7. Thymol, Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland
8. Cil Release 1711E, Ebalta Kunststoff GmbH, Rothenburg/Tauber
9. Siliziumcarbid-Papier: Körnung 220, 320, 500, 800, 1200, 2400, 4000, Firma Struers, Erkrath
10. Tellerschleifmaschine DP-U4 mit PDM-Force, Firma Struers, Erkrath
11. Rotierende Probenhalterung: PDM-Force, Firma Struers, Rødorve/Kopenhagen, Dänemark
12. Erkodur, Durchmesser 120 mm-Tiefziehfolien, Erkodent® Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler
13. Prüfkörperhalterung aus Messing, Spezialanfertigung, CC03 der Charité - Universitätsmedizin Berlin
14. Diamantschleifer, 885 KR/ 008, Komet, Lemgo
15. Cleanic-Prophylaxepaste: Hawe KerrHawe SA Bioggio, Schweiz
16. SuperPolish-Prophylaxepaste, KerrHawe SA Bioggio, Schweiz
17. Gummipolier: KERR GmbH 1805/30 Screw-Type spitz, weiches Gummi (grau), Packung zu 30
18. Siemens-Dental, Bensheim
19. Perthometer S6P Perthen/Mahr Göttingen

20. Vorschubeinheit PRK Perthen/Mahr Göttingen

21. Tastarm für Mikromessungen; FRW 750 (Bezugsflächentastsystem), Best.-Nr.  
6851401, Tastkraft 6 mN, Perthen/Mahr Göttingen

22. SPSS Statistics 18

--

## 10.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 5.1: Pulver-Wasser-Strahlgerät Air-Flow Handy 2+

Abb. 5.2a: Air-Flow Prophylaxis Powder

Abb. 5.2b Clinpro Prophy Powder

Abb. 5.3: hochglanzpolierter Schmelzprüfkörper eingebettet in einer schnellhärtenden Zweikomponenten-Polyurethangießmasse

Abb. 5.4: Schematische Darstellung des In-vitro-Kariesmodells (Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Herrn Prof. Seemann)

Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus: A = steriler Bereich innerhalb des Isolators; B = Reaktionskammer; C = Hauptschleuse für den initialen Transfer aller Materialien; D = Nebenschleuse für den Transfer kleinerer Gegenstände während des laufenden Versuches; E = flüssige Medien; F = synthetische Luft; G = Abfallcontainer; H = Wasserthermostat und Heizröhrensystem zur Temperierung der Reaktionskammer; I = Schlauchpumpen; J = Handschuheingriffe für das Arbeiten innerhalb des Isolators; K = Schrittmotor; L = auf Probenrad montierte Zahnproben passieren Tropfspitzen, die alle erforderlichen flüssigen Medien fördern [152].

Abb. 5.5a: Reaktionskammer

Abb. 5.5b: Medien und ihre Pumpen

(Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Frau Dr. Franziska Frangenberg (Schneider))

Abb. 5.6: Zeitlicher Ablauf der Computer-gesteuerten Schlauchpumpen zur Ausbildung eines Biofilms und kariesähnlicher Läsionen auf den Zahnproben über einen Zeitraum von 17 Tagen. Dargestellt sind 60 Minuten. (Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Frau Dr. Franziska Frangenberg (Schneider))

Abb. 5.7: Parallelisierung der Ober- und Unterseiten der Prüfkörper zur Pulpa-Dentin-Grenzlinie auf der Basis eines Röntgenbildes durch Abschleifen der gestrichelten Bereiche

Abb. 5.8: Vorrichtung aus Plexiglas zur Dentinprüfkörperherstellung

1 = Grundfläche

2 = Aussparung zur Platzierung der Prüfkörper

3 = parallel zum Boden ausgerichtetes Dach

Abb. 5.9: Prüfkörperhalterung mit Schlitz (S) und zwei Bohrungen zum Anbringen von Referenzpunkten (R) zum Bestrahlen eingebetteter und plangeschliffener Rinderzähne

AB: Abdeckplatte mit Schlitz (S)

Abb. 5.10: Verschiebbliche Messingblende, die sicherstellt, dass jeweils nur eine Zahnfläche bestrahlt wird; durch den Schlitz  $S_1$  bleibt nur eine Fläche frei und die anderen Schlitz (S) werden abgedeckt.

Abb. 5.11: Zweiteilige Vorrichtung mit den seitlichen Fortsätzen (1), auf denen je nach Strahlabstand Abstandshalter (2) und dann die Abdeckplatte (6) (AB in Abb. 5.9) lagen, um die Zahnoberfläche stets in derselben vertikalen Position einzustellen.

1. seitliche Fortsätze (Liegeflächen der zweiteiligen Vorrichtung aus Gips und Silikon)
2. Abstandshalter (zwischen (1) und (6) entsprechend Liegeflächenform zurechtgeschliffen)
3. Air-Flow Handy 2+
4. Aussparung für die verschiebbliche Messingblende
5. Prüfkörper
6. Abdeckplatte der Prüfkörperhalterung (= AB in Abb. 5.9)

Abb. 5.12: Halterung für das Air-Flow Handy 2+ und die Vorrichtung aus Abbildung 5.11

Abb. 5.13: Plexiglas-Abstandshalter zur Einstellung verschiedener Abstände (vgl. Abb. 5.12)

Abb. 5.14: Schmelzprüfkörper nach Bestrahlung mittels  $\text{NaHCO}_3$

Abb. 5.15: Dentinprüfkörper nach Bestrahlung mittels  $\text{NaHCO}_3$

Abb. 5.16: Silikonvorrichtung zur Profilometrie

1. Auf den Silikonflächen (gelb) liegende Fortsätze der oberen Plexiglasscheibe
2. Seitliche Spielräume (2 mm) aufgefüllt mit 2 mm dicken Platzhaltern
3. Mikrotaster

Abb. 5.17: Perthometer

1. Arbeitstisch
2. Mikrotaster FRW 750
3. Vorschubeinheit PRK
4. Perthometer S6P
5. Rille im Messtisch, in die die Silikonvorrichtung aus Abb. 5.16 eingesetzt war

Abb. 5.18: Messstrecken auf den Prüfkörpern von jeweils 1,5 mm Länge (grüne Pfeile) zum Bestimmen der Rauheitskenngroße  $R_a$  im Bereich der drei bestrahlten Areale. Drei parallele Scan-Linien verliefen genau auf der Verbindung der Referenzlöcher und jeweils parallel dazu 2 mm seitlich davon. Aus den drei parallelen Scan-Linien pro Areal wurde jeweils der Mittelwert berechnet.

(R: Referenzlöcher zur Positionierung der Prüfkörper auf dem Messtisch)

Abb. 5.19: Messstrecken auf den Prüfkörpern von jeweils 4,8 mm Länge zum Bestimmen der Wellentiefe  $W_t$  als Kenngroße für den Zahnhartsubstanzauftrag. Die Messungen erfolgten auf den gleichen Scan-Linien wie die Rauheitsmessungen.

Abb. 5.20: Box-Whisker-Plot

Ein Box-Whisker-Plot zeigt eine grafische Darstellung von Datenverteilung. Der Kasten beinhaltet die mittleren 50 % der Daten. Er wird durch das 25 %- und 75 %-Quantil (auch als 1. und 3. Quartil oder unteres und oberes Quartil bezeichnet) begrenzt. Die Länge des Kastens (Der Abstand zwischen dem 1. und 3. Quartil) ist von der Streuung der Daten abhängig. Oberhalb und Unterhalb vom Medianwert (50 %- Quartil) befinden sich jeweils

50% der Daten. Befindet sich der Medianwert im oberen Teil des Kastens, so ist die Datenverteilung rechtsschief und umgekehrt [155].

Ausreißer: Beobachtungen, die mehr als 1,5 Kastenlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.

Extremwerte: Beobachtungen, die mehr als 3 Kastenlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.

Abb. 6.1: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach Bearbeitung von Schmelzflächen mit dem Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophy Powder.

Abb. 6.2: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach PWS-Bearbeitung der demineralisierten Schmelzflächen; Strahldauer 5 s.

Abb. 6.3: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach PWS-Bearbeitung der pulpanahen und pulpafernen Dentinflächen mit unterschiedlichen Materialien im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

Abb. 6.4: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach Bearbeitung von Dentinflächen mit Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophy Powder im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

Abb. 6.5: Boxplot-Darstellung der Rauheit Ra nach PWS-Bearbeitung verschiedener Zahnhartsubstanzen (Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin) aus 5 mm Abstand

Abb. 6.6: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach Bearbeitung von Schmelzflächen mit Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophy Powder.

Abb. 6.7: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach PWS-Bearbeitung der demineralisierten Schmelzflächen

Abb. 6.8: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach PWS-Bearbeitung der pulpanahen und pulpafernen Dentinflächen mit unterschiedlichen Materialien im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

Abb. 6.9: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach Bearbeitung von Dentinflächen mit Prophylaxepasten Cleanic und SuperPolish sowie nach PWS-Bearbeitung mittels Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro Prophy Powder im Vergleich zu hochglanzpolierten Dentinflächen.

Abb. 6.10: Boxplot-Darstellung der Wellentiefe Wt nach PWS-Bearbeitung verschiedener Zahnhartsubstanzen (Schmelz, demineralisierter Schmelz und Dentin) aus 5 mm Abstand

### 10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Rauheitsunterschiede zwischen den Schmelzgruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Tabelle 6.2: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Rauheitsunterschiede zwischen den Gruppen mit demineralisierten Schmelzflächen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Tabelle 6.3: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Rauheitsunterschiede zwischen den Dentingruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Tabelle 6.4: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Wellentiefenunterschiede zwischen den Schmelzgruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Tabelle 6.5: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Wellentiefenunterschiede zwischen den Gruppen mit demineralisierten Schmelzflächen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

Tabelle 6.6: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Wellentiefenunterschiede zwischen den Dentingruppen mittels Mann-Whitney-U-Test.

× = statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p < 0,05$ )

## 10.4 Danksagung

Mein besonderer und herzlichster Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Jost-Brinkmann, für die Überlassung des Themas, die intensive und großzügige Unterstützung und Hilfestellung während der Fertigstellung der Arbeit sowie die gewissenhafte Durchsicht des Manuskripts.

Ich danke Herrn Prof. Seemann für die Bereitstellung des In-vitro-Kariesmodells sowie freundliche Unterstützung während der Untersuchungen.

Ich danke Herrn Dr. Thomas Kersten für die zuverlässige Unterstützung beim Kultivieren der *S. mutans* Monokultur.

Ich danke Herrn PD Dr. Müller und allen Mitarbeitern des Bereichs zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung der Charité für die Bereitstellung des Perthometers und die freundliche Betreuung und Hilfestellung am Gerät.

Ich möchte meiner lieben Frau ganz herzlich danken, die mich während der gesamten Zeit unterstützt hat.

## **10.5 Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 10.6 Erklärung an Eides Statt

Ich, Seyed Saeid Mohammadian Masouleh, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: "Auswirkungen von Air-Flow Prophylaxis Powder und Clinpro™ Prophy Powder als Strahlmittel appliziert mit einem Air-Flow® Handy 2+ auf Schmelz, Dentin und demineralisierten Schmelz (Initialkaries)" selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

Datum

Unterschrift