

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie
und Kinderzahnmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die
Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Philipp Schwabe

aus

Karl-Marx-Stadt

Datum der Promotion: 05.12.2014

Vorwort

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

1	EINLEITUNG.....	6
2	LITERATURÜBERBLICK	8
2.1	Risiken bei der Therapie mit festsitzenden Apparaturen.....	8
2.1.1	Dentale Plaque und deren Entstehung	8
2.1.2	Kariesrisiko.....	9
2.1.3	Parodontitisrisiko	10
2.2	Komponenten der Kariesprophylaxe.....	14
2.2.1	Mechanische Plaquekontrolle	14
2.2.2	Lokale Anwendung von Fluoriden	16
2.2.2.1	Kariespräventive Wirkungsmechanismen der Fluoride	16
2.2.2.2	Einsatz Fluorid freisetzender Materialien in der Multibracket- Behandlung	17
2.3	Pulver-Wasser-Strahlgeräte in der Prophylaxe.....	21
2.3.1	Historie	21
2.3.2	Auswirkungen der Pulver-Wasser-Strahltechnik auf orale Gewebe und zahnärztliche Werkstoffe	23
2.3.2.1	Wirkung auf Hartgewebe	23
2.3.2.2	Wirkung auf Weichgewebe	26
2.3.2.3	Wirkung auf zahnärztliche Werkstoffe.....	29
2.3.3	Indikationen für den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten	32
3	FRAGESTELLUNGEN	34
4	MATERIALIEN UND METHODEN.....	35
4.1	Materialien.....	35
4.1.1	Pulver-Wasser-Strahlgeräte	35
4.1.1.1	Pulver-Wasser-Strahlgerät easyjet pro	35
4.1.1.2	Pulver-Wasser-Strahlgerät Prophy-Mate neo.....	36
4.1.2	Reinigungspulver.....	37
4.1.3	Bracketadhäsive.....	38
4.1.3.1	Tectosan.....	38
4.1.3.2	ConTec LC	38
4.1.3.3	Beauty Ortho Bond	39
4.1.3.4	Transbond PLUS Color Change Adhesive.....	39
4.1.3.5	Light Bond	39

4.1.3.6	Phase II	40
4.1.3.7	BonaBond plus LC	40
4.2	Methoden	41
4.2.1	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper	41
4.2.2	Messung der Fluoridfreisetzung	44
4.2.3	Versuchsdurchführung und Versuchsablauf	46
4.2.3.1	Referenzmessung.....	46
4.2.3.2	Pulver-Wasser-Strahlgerät-bestrahlte Proben.....	46
4.3	Statistische Auswertung und grafische Darstellung	50
5	ERGEBNISSE	51
5.1	Fluoridfreisetzung.....	51
5.1.1	Fluoridfreisetzung unbestrahlter Referenzgruppen	51
5.1.2	Fluoridfreisetzung bestrahlter Proben	53
5.2	Signifikanzanalyse der Fluoridfreisetzung in der 17. bis 20. Woche	61
6	DISKUSSION	71
6.1	Diskussion der Fragestellung	71
6.2	Diskussion der Materialauswahl	71
6.3	Diskussion der Methode	72
6.3.1	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper.....	72
6.3.2	Bestrahlen der Prüfkörper	76
6.3.3	Messmethode zum Bestimmen der Fluoridkonzentration und Auswertung	79
6.3.4	Diskussion der statistischen Methoden.....	82
6.4	Diskussion der Ergebnisse	83
6.4.1	Fluoridfreisetzung unterschiedlicher Adhäsive.....	83
6.4.2	Fluoridfreisetzung unter dem Einfluss verschiedener Reinigungs- pulver	87
6.4.3	Fluoridfreisetzung unter dem Einfluss unterschiedlicher Geräte und Einstellungen.....	92
6.5	Klinische Konsequenzen für die PWS-Anwendung.....	94
7	ZUSAMMENFASSUNGEN.....	98
7.1	Zusammenfassung	98
7.2	Summary.....	100

8	LITERATURVERZEICHNIS.....	102
9	ANHANG.....	122
9.1	Abbildungsverzeichnis.....	122
9.2	Tabellenverzeichnis.....	124
9.3	Materialliste.....	131
9.4	Danksagung.....	133
9.5	Lebenslauf.....	134
9.6	Publikationsliste.....	135
9.7	Erklärung.....	136

1 EINLEITUNG

Da nur etwa 5 %¹⁰¹ bis 15 %²¹⁵ der Bevölkerung ein kieferorthopädisches Idealgebiss besitzen, ist es nicht verwunderlich, dass heute mehr als die Hälfte der Kinder und Jugendlichen eines Jahrganges kieferorthopädisch behandelt werden⁹². Während der Behandlung mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen, besteht ein erhöhtes Risiko der Schmelzdemineralisation¹²⁹.

Demineralisationsprozesse im Schmelz zeigen sich als White-Spot-Läsionen und können bereits vier Wochen nach Therapiebeginn mit festsitzenden Apparaturen manifest werden¹⁷⁰, initial meist im gingivalen Bereich^{5, 82}. Die Zunahme des Kariesrisikos ist auf die Schaffung von Retentionsnischen durch das Eingliedern von Brackets und Bögen zurückzuführen^{5, 92, 129, 151}. Daraus wird ersichtlich, dass eine kieferorthopädische Behandlung dem Patienten eine erhöhte Bereitschaft zur Mundhygiene abverlangt^{74, 191}. Deshalb sollte vor Behandlungsbeginn eine adäquate Mitarbeit des Patienten geprüft werden.

Um initiale kariöse Prozesse und Gingivitiden frühzeitig diagnostizieren zu können, empfiehlt es sich, ein wirksames Konzept zur Prävention von Karies und Parodontalerkrankungen zu etablieren. Dabei sollten Maßnahmen wie Mundhygiene-Instruktionen, Erheben von Mundhygiene-Indizes, professionelle Zahnreinigungen und Fluoridierungsmaßnahmen in einen sinnvollen Einklang gebracht werden, um die Gesunderhaltung der oralen Gewebe zu sichern⁷.

Die professionelle Zahnreinigung bei Patienten mit festsitzender Apparatur ist zeitaufwändig und dadurch teuer. Deshalb sind viele dazu übergegangen, Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PWS) für die Individualprophylaxe zu nutzen^{61, 106}. Damit kann eine deutliche Zeitersparnis erreicht werden. Für die Zahnreinigung ist das zeitaufwändige Ausligieren des Bogens nicht erforderlich⁷⁵ und so kann die Zahnreinigung auf etwa drei Minuten verkürzt werden¹¹⁰. Allerdings sind die Oberflächen dann nicht perfekt poliert¹⁵⁸.

PWS haben nach ihrer Einführung vor etwa 35 Jahren Einzug in verschiedene Bereiche der Zahnmedizin gehalten^{75, 131}. Durch weiterentwickelte Geräte und Pulver konnte das Anwendungsspektrum sogar auf den subgingivalen Bereich erweitert werden^{65, 131, 152, 187, 188}.

Eine weitere wichtige Säule der Prophylaxe während kieferorthopädischer Therapie stellen Fluoridierungsmaßnahmen dar. Hierbei soll besonders das Bracketumfeld näher betrachtet werden, da dieser Bereich bereits bei der Insertion der Brackets durch Konditionierungsprozesse einer Demineralisation ausgesetzt wird. Eine wirkungsvolle Methode zum Verhindern von Demineralisationsprozessen stellt die professionelle Applikation von Fluoridlacken dar^{27, 42, 99, 168}.

Es konnte gezeigt werden, dass geringe aber kontinuierliche Fluoridmengen im Vergleich zu einmaligen hochdosierten Applikationen einen höheren kariostatischen Effekt auf das Bracket- und Bandumfeld haben^{37, 168}. Eine kariesprotektive Wirkung mit Fluorid angereicherter Befestigungsmaterialien auf das Bracketumfeld konnte sogar schon nach vier Wochen nachgewiesen werden^{12, 83}.

Aus diesem Grund wurden Materialien zur adhäsiven Befestigung von Brackets mit Fluorid versetzt¹⁷⁷. So soll ein zusätzliches Fluoridreservoir geschaffen werden, aus dem eine annähernd kontinuierliche Fluoridfreisetzung erfolgt^{12, 51, 83, 177}.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Fluoridfreisetzung verschiedener Bracketadhäsive zu bestimmen. Ferner sollte geprüft werden, inwieweit unterschiedliche Bestrahlungspulver und Einstellungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten Einfluss auf die Fluoridfreisetzung haben.

2 LITERATURÜBERBLICK

2.1 Risiken bei der Therapie mit festsitzenden Apparaturen

2.1.1 Dentale Plaque und deren Entstehung

Dentale Plaque ist ein bakterieller Biofilm und verfügt mit etwa 1000 unterschiedlichen Bakterienarten über eine ausgeprägte Heterogenität²³³. Biofilme stellen bakterielle Populationen dar, die eine Matrix aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) produzieren²⁵⁴. Die von den Bakterien produzierten EPS dienen dem Biofilm als strukturelles Gerüst, verleihen Stabilität gegen mechanische Einflüsse und dienen zudem als Wasser- und Nährstoffspeicher¹³⁶. Bakterien, die im Verband des Biofilms existieren, besitzen im Vergleich zu planktonisch existierenden Vertretern eine wesentlich höhere Widerstandskraft gegenüber Antibiotika und antimikrobiellen Wirkstoffen^{2, 50}.

Bakterienzellen des Biofilms tauschen untereinander Informationen aus, dies bezeichnet man als „quorum sensing“. Dabei geben die Bakterienzellen Signalmoleküle an die Umgebung ab. Wird ein von der Zelldichte abhängiger Schwellenwert an Signalmolekülen überschritten, so führt dies in den Bakterienzellen zu einer Änderung der Genproduktion und damit zu veränderten Funktionen bei den Mikroorganismen im Biofilm^{38, 176}.

Die dentale Plaque entwickelte sich in mehreren Schritten:

Ein azellulärer Film (Pellikel) adsorbiert innerhalb von Minuten bis zwei Stunden auf einer gereinigten Zahnoberfläche. Die Stärke dieses Häutchens beträgt etwa 1 µm und besteht aus Speichelproteinen, Sulcusflüssigkeit, Bakterien- und Zellprodukten.

Die Hauptbestandteile des sekundären Schmelzoberhäutchens sind Glykoproteine, Phosphoproteine und Lipide aus dem Speichel und der Sulcusflüssigkeit. An dieser Membran bildet sich die frühe Plaqueflora, die von grampositiven Streptokokken (*Streptococcus mitis*, *Streptococcus oralis*, *Streptococcus sanguis* und in geringen Mengen *Streptococcus salivarius*) dominiert wird^{76, 115, 124}.

Die etablierte Plaque zeichnet sich durch dicht gepackte Bakterien aus, die in eine amorphe Matrix integriert sind. Die bakterielle Zusammensetzung der etablierten Plaque ist variabel⁹¹. Zu den Bakterien der Spätbesiedlung zählen

A. actinomycetemcomitans, Prevotella intermedia, Eubacterium spp., Treponema denticola und Porphyromonas gingivalis. Fusobacterium nucleatum stellt die Verbindung zwischen der frühen und etablierten Plaque dar¹¹⁵.

2.1.2 Kariesrisiko

Die Entwicklung von White-Spot-Läsionen bei der Behandlung mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen stellt ein großes klinisches Problem dar. White-Spot-Läsionen entwickeln sich als Folge der verlängerten Anlagerungszeit der Plaque auf den betroffenen Flächen in Folge unzureichender Mundhygiene²²⁸. Während einer kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen muss mit einer Zunahme des Kariesrisikos gerechnet werden^{93, 170, 175}. Die Prävalenz für White-Spot-Läsionen wird für Patienten, die kieferorthopädisch behandelt wurden, mit 2 % bis 96 % angegeben^{82, 151, 167, 171, 257}.

Sobald die aktive kieferorthopädische Behandlung abgeschlossen ist, kann in der Regel mit einer Abnahme der Demineralisationen gerechnet werden. Einige White-Spot-Läsionen remineralisieren und kehren entweder in einen normalen oder zumindest in einen visuell akzeptablen Zustand zurück^{108, 228}. Jedoch können auch ästhetisch unakzeptable Ergebnisse persistieren, die einer restaurativen Behandlung bedürfen^{108, 228}.

Demineralisationsprozesse im Schmelz entwickeln sich in Folge eines Ungleichgewichtes zwischen Demineralisation und Remineralisation³¹. Maßgeblichen Einfluss auf diese Prozesse besitzen die Verweildauer der bakteriellen Plaque an der Schmelzoberfläche, die individuelle Mundhygiene und die persönliche Abwehrlage^{3, 31}.

White-Spot-Läsionen sind Vorstufen von Schmelzkaries mit Kavitationen. Das Erscheinungsbild des frühen Demineralisationsprozesses ist ein optisches Phänomen, das durch Mineralverlust in den oberflächlichen und darunterliegenden Schichten entsteht. Der beginnende Mineralverlust findet unterhalb der oberflächlichen Schmelzschichten statt, wobei in diesen Bereichen eine Zunahme des Porenvolumens zu verzeichnen ist. Das resultierende Erscheinungsbild der veränderten Schmelzbereiche grenzt sich durch einen Verlust des Oberflächenglanzes sowie durch Veränderungen der inneren Reflexionseigenschaften von nicht demineralisierten Schmelzbereichen ab^{82, 167}.

Patienten mit festsitzender kieferorthopädischer Apparatur neigen vermehrt zur Entstehung von Demineralisationsprozessen^{5, 82, 108, 167}. Dies lässt sich durch zusätzliche Retentionsstellen für Plaque und deren erschwerte Reinigbarkeit durch den Patienten erklären^{6, 31, 82, 151, 170, 228}. Mit zunehmender Akkumulation und Reifung der Plaque steigt die Präsenz von Karies induzierenden Keimen wie *Streptococcus mutans* und Laktobazillen an^{9, 23, 46, 244}. Dies hat einen Abfall des pH-Wertes in der retinierten Plaque zur Folge, was die Remineralisation verhindert^{32, 85, 218, 257}. Bereits 4 Wochen nach Behandlungsbeginn mit einer festsitzenden Apparatur können White-Spot-Läsionen auftreten^{92, 165, 170}.

2.1.3 Parodontitisrisiko

Es kann als gesichert angenommen werden, dass bakterielle Plaque die häufigste Ursache für die Entwicklung von Gingividen und Parodontalerkrankungen darstellt^{127, 128}. Die Plaquemenge, deren Zusammensetzung und die daraus resultierenden Eigenschaften sind von verschiedenen Faktoren, einschließlich der Eigenschaften der besiedelten Oberflächen abhängig^{193, 194}.

Besonders der Oberflächenrauigkeit und hohen Oberflächenenergien werden positive Rollen für das Plaquewachstum und deren Reifung zugesprochen^{192, 194}. Es konnte gezeigt werden, dass die Rauigkeit für die Anlagerung und Zusammensetzung der Plaque eine größere Bedeutung besitzt, als die freie Oberflächenenergie^{192, 194}. Wobei die Pellikelbildung einen größeren Einfluss auf die relative Oberflächenspannung hat, als die Bearbeitung mit Prophylaxepasten oder Pulver-Wasser-Strahlgeräten⁷⁸. Demnach trägt eine Oberflächenbearbeitung mit PWS oder Polierpasten nicht stärker zur Pellikelbildung bei, als die natürliche Benetzung der Zähne mit Speichel⁷⁸.

Neben der Gesamtmenge an Bakterien, spielt vor allem das Verhältnis zwischen aeroben und anaeroben Bakterien eine wichtige Rolle für die Beurteilung der Pathogenität der Plaque. Maßgeblichen Einfluss auf den pathogenen Charakter der Plaque hat vorallem deren Zusammensetzung aus verschiedenen Plaquebakterien, die sich in ihren morphologischen und stoffwechselspezifischen Eigenschaften unterscheiden^{137, 223, 256}.

Beim Vergleich von Zähnen mit unterschiedlichen festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen und einer unbehandelten Kontrollgruppe wurden signifikante

Unterschiede in der Biofilmbildung zwischen den verschiedenen Apparaturen und der Kontrollgruppe festgestellt^{71, 191, 241}. Verschiedene Autoren fanden, dass der Biofilm zu reversiblen gingivalen und parodontalen Veränderungen führt^{81, 236}. JANSON et al.¹⁰⁴ hingegen berichten von einem signifikanten Attachmentverlust während kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaturen (Brackets in Kombination mit Headgear und Lip-Bumper). Die Untersuchungsergebnisse von FREUNDORFER et al.⁷¹ deuten allerdings daraufhin, dass es nur bei fehlender professioneller Plaquebeseitigung während einer orthodontischen Behandlung zu einer dauerhaften Veränderung der subgingivalen Flora kommt.

In einer Analyse der subgingivalen Mikroflora an verschiedenen kieferorthopädischen Retentionselementen konnten PURUCKER et al.¹⁹¹ während einer kieferorthopädischen Behandlung (nach 12 Monaten Behandlungsdauer) feststellen, dass die Zusammensetzung der Mikroflora bei Zähnen mit Bändern parodontal pathogener war, als bei Zähnen mit Brackets oder unbehandelten Kontrollzähnen. In der subgingivalen Plaque der bebänderten Zähne fanden sich nur 67,5 % Kokken. Im Vergleich dazu wurden Kokken bei Zähnen mit Brackets zu 80,7 % und bei Kontrollzähnen zu 92,5 % vorgefunden. Dabei korreliert die Menge der Kokken positiv mit der parodontalen Gesundheit. Umgekehrt verhielt es sich mit Spirochäten und beweglichen Stäbchen, dabei fanden sich die höchsten Werte an Zähnen mit Bebänderung.

CHOI et al.³⁴ konnten 3 Monate nach Entfernung einer festsitzenden orthodontischen Apparatur weniger parodontalpathogene Mikroorganismen in der subgingivalen Plaque feststellen als zwei Wochen vor Entfernung der Apparatur. An durchschnittlich 65 % der untersuchten 120 Messstellen (vier Entnahmestellen mit jeweils 30 Messungen) konnte vor der Entfernung *C. rectus* festgestellt werden. Nach drei Monaten war *C. rectus* noch an durchschnittlich 43,3 % der 120 untersuchten Messstellen vorzufinden. Dieser Wert ist sogar geringer, als der der Kontrollgruppe mit durchschnittlich 44,2 %.

Für *E. corrodens* konnte eine durchschnittliche Reduktion von 53,3 % auf 30,8 % beobachtet werden. Jede der vier untersuchten Entnahmestellen zeigte nach drei Monaten ein geringeres oder ein zumindest gleiches prozentuales Vorkommen von *E. corrodens* als die Kontrollgruppe. Nach welchem Zeitraum die präorthodontische Zusammensetzung der subgingivalen Mikroflora erreicht wird, wurde von den

Autoren nicht untersucht³⁴. Auch FREUNDORFER et al.⁷¹ konnten nach dem Entfernen der Retentionselemente (23,1 ± 10,7 Monate nach Behandlungsabschluss) eine Verschiebung zugunsten einer physiologischen Sulkusflora beobachten. Jedoch war der Anteil latent parodontalpathogener Keime an Zähnen die Brackets oder Bänder getragen hatten, noch immer erhöht⁷¹. Deshalb sollte nicht nur während einer kieferorthopädischen Behandlung, sondern auch nach Entfernung einer festsitzenden Apparatur eine intensive Plaquekontrolle stattfinden^{34, 71, 92, 191}.

Während orthodontischer Zahnbewegung kommt es zu einer Expression von Mediatoren (Zytokinen) in die gingivale Sulkusflüssigkeit (GCF=gingival crevicular fluid)^{204, 205}. VAN GASTEL et al.²⁴⁰ haben die Zytokin-Konzentrationen im GCF nach einjähriger kieferorthopädischer Behandlung untersucht. Besonderes Interesse galt dabei Interleukin-6 und Interleukin-8. Interleukin-6 reguliert unter anderem die Immunzellrekrutierung und damit den Übergang von einer akuten zu einer chronischen Entzündung²⁰⁸. Interleukin-8 spielt eine Schlüsselrolle bei der chemotaktischen Rekrutierung von Leukozyten in das entzündete Gewebe und deren Aktivierung⁹⁰. Neben der GCF-Zusammensetzung wurden zusätzlich noch die GCF-Fließrate, die Plaque-Zusammensetzung, die Sondierungstiefe und die Blutung bei Sondierung untersucht²⁴⁰. Der Vergleich der erwähnten Parameter vor Behandlungsbeginn und zu Behandlungsende ergab, dass die Pathogenität der Plaque und alle übrigen parodontalen Entzündungsparameter signifikant zunahm²⁴⁰. Die Zytokin-Konzentrationen unterschieden sich zum Zeitpunkt vor Behandlungsbeginn und zum Behandlungsende nicht signifikant²⁴⁰. Eine erhöhte Interleukin-6-Konzentration im GCF vor Behandlungsbeginn war ein signifikanter Prädiktor für die GCF-Fließrate zum Behandlungsende. Ebenso konnte ein Zusammenhang zwischen einer erhöhten Interleukin-8-Konzentration vor Behandlungsbeginn und dem Anstieg der Sondierungstiefe zum Behandlungsende festgestellt werden²⁴⁰. Durch den prädiktiven Charakter der beiden Interleukin-Konzentrationen kann vor Behandlungsbeginn die Anfälligkeit der Patienten für parodontale Entzündungen abgeschätzt werden. Außerdem könnte bei Patienten, bei denen sich nach der kieferorthopädischen Behandlung die parodontalen und mikrobiellen Parameter nicht normalisieren, ein Screening für die Anfälligkeit auf die Biomarker Interleukin 6 und Interleukin 8 hilfreich sein.

Verschiedene Autoren untersuchten den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten und unterschiedlicher Reinigungspulver für die subgingivale Anwendung^{64, 65, 152, 181, 182}. Aus mikrobiologischer Sicht konnten durch die subgingivale PWS-Anwendung im Vergleich zum konventionellen Scaling und Glätten der Wurzeloberflächen gleichwertige oder positivere Ergebnisse erzielt werden^{64, 152}. Gegenüber gingivalen Strukturen konnten nach der Glycinanwendung im Gegensatz zur Verwendung von Natriumbikarbonat oder Küretten weniger Veränderungen an der epithelialen Barriere und ein unbeschadeter Erhalt der Basalmembran nachgewiesen werden¹⁸¹. Verschiedene Arbeitsgruppen beobachteten vergleichbare klinische Ergebnisse bei der konventionellen Reinigung mittels Handinstrumenten und der Verwendung von Glycin als Reinigungspulver^{65, 182}.

2.2 Komponenten der Kariesprophylaxe

2.2.1 Mechanische Plaquekontrolle

Im Folgenden soll auf die Notwendigkeit und Möglichkeiten zur Beseitigung der dentalen Plaque unter besonderer Berücksichtigung von Patienten mit Multibracket-Apparatur näher eingegangen werden.

Mit der Eingliederung einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur nehmen auch die Retentionsstellen für Plaque zu ^{5, 92, 94, 129, 151}. Körpereigene Selbstreinigungsprozesse und die individuelle Mundhygiene reichen häufig nicht aus, um einen Anstieg der Mutans-Streptokokken und anderer kariogener Keime und damit eine Zunahme der Demineralisationsprozesse zu vermeiden ³⁰. Um Demineralisationsprozesse zu vermeiden, sollte während der Behandlung ein wirksames Prophylaxekonzept zur Kontrolle und Optimierung der Mundhygiene einschließlich mechanischer Plaquekontrolle etabliert werden ^{7, 71, 191}.

Zur mechanischen Plaquekontrolle stehen spezielle kieferorthopädische Zahnbürsten zur Verfügung. Die Gestaltung der Borstenfelder ist sehr variabel und wird in klinischer Hinsicht unterschiedlich bewertet ^{95, 107, 112, 249}. Besonders Multibracketpatienten mit mäßiger Mundhygiene profitieren von der Verwendung elektrischer Zahnbürsten (Rota-dent [Rota-dent], Braun Oral-B Plaque Remover OD5 [Braun/Oral-B] hinsichtlich besserer plaquereduzierender Wirkung im Vergleich zum Gebrauch von Reinigungsinstrumenten zur manuellen Anwendung einer Handzahnbürste (Elmex Nr. 29 [Wybert]) plus Interdentalbürste (Emlex Nr. 1283 [Wybert]) plus Superfloss [Oral-B] ⁹⁵. Durch den Gebrauch der elektrischen Zahnbürste Rota-dent konnte eine effektivere Plaqueentfernung (O`Leary Plaque Index) als bei Verwendung manueller Reinigungsinstrumente erreicht werden ⁹⁵. In einer weiteren Untersuchung zur Wirksamkeit elektrischer Zahnbürsten bei Multiband-Patienten konnte die Arbeitsgruppe ¹⁰⁷ lediglich an bebänderten Zähnen nach einer Anwendungsdauer von 2 Wochen signifikante Unterschiede hinsichtlich der GI-Werte (**G**ingiva-Blutungs-Index nach Ainamo und Bay) zwischen zwei untersuchten elektrischen Zahnbürsten (Rota-dent [Rota-dent], Plak Control mit orthodontischem Bürstenkopf OD5 [Braun]) und der manuellen Reinigungsmethode (Handzahnbürste (Elmex Nr. 29 [Wybert]) plus Interdentalbürste (Emlex Nr. 1283 [Wybert]) plus Superfloss [Oral-B]) feststellen, die jedoch bereits nach 4 Wochen

nicht mehr bestanden. Die in beiden Untersuchungen^{95, 107} verwendeten elektrischen Zahnbürsten waren zur Minderung von Plaque und Blutung mindestens ebenso wirksam wie Handzahnbürste plus Interdentalebürste plus Superfloss.

Die für die Reinigung der Approximalräume entwickelten Zahnseiden Orthofloss [Ortho-Care] und Superfloss [Oral-B] wurden von DJAMCHIDI⁴⁹ auf ihre Wirksamkeit untersucht. Dazu wurde die Zahnseide Orthofloss, die für Multibracketpatienten entwickelt wurde, hinsichtlich ihrer Reinigungswirkung und Handhabung mit dem speziellen Zahnseidefaden Superfloss verglichen. Es zeigte sich, dass Superfloss und Orthofloss nur bei der Reinigung der Frontzahnapproximalbereiche wirksam waren. Basierend auf den Ergebnissen einer Probandenbefragung wurde ein Halter für Zahnseide entwickelt (Megafloss [miradent]), der sich durch seine einfache Anwendung für Multibracketpatienten auszeichnet und auch eine einfache Handhabung im Seitenzahnbereich möglich machen soll⁴⁹.

Für die Reinigung des Bracket-Bogen-Drahtkomplexes wird das zusätzliche Anwenden von Interdentalebürsten empfohlen^{19, 79}. BOCK et al.¹⁹ konnten durch das zusätzliche Verwenden von Interdentalebürsten (elmex interdental brush no. 6 [GABA] und TePe Compact Tuft [TePe]) signifikante Plaquereduktionen beobachten. Dabei waren die unterschiedlichen Bürstenformen nicht ausschlaggebend für die Abnahme der Plaquemengen.

Verschiedene Zahnbürsten in Kombination mit Interdentalreinigungsgeräten wurden auch von KOSSACK et al.^{118, 119} auf ihre Effektivität bei Multibracketpatienten überprüft. Zur Plaque- und Gingivitisreduktion wurden eine Schall- und eine manuelle Zahnbürste beziehungsweise ein elektronisches Interdentalraumreinigungsgerät und eine Spezialzahnseide auf ihre Wirksamkeit untersucht und verglichen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die untersuchten Zahnbürsten (interX-Kurzkopf-Zahnbürste [Elmex] und Sonic Speed Schall-Zahnbürste SR-100E [Water Pik]) keinen Unterschied hinsichtlich der Reinigungseffektivität besaßen. Die alleinige Verwendung der untersuchten Schall-Zahnbürste reichte nicht für eine effektive Reinigung des Approximalraumes aus und muss durch eine Interdentalraumreinigungshilfe ergänzt werden. Das elektronische Interdentalraumreinigungsgerät (Flosser FL-110 [Water Pik]) war effektiver als die Spezialzahnseide (multi-floss 3-Phasen-Zahnseide [Elmex]).

Aus den aufgeführten Untersuchungsergebnissen^{19, 49, 79, 95, 107, 118, 119} wird deutlich, dass eine effektive mechanische Plaquekontrolle während einer orthodontischen Behandlung möglich ist. Sowohl während als auch nach einer kieferorthopädischen Behandlung sollten intensive Bemühungen um eine effektive Plaquereduktion, unterstützt durch professionelle Zahnreinigung und Optimierung der Mundhygiene, angestellt werden^{7, 49, 71, 92, 94, 106, 191}.

2.2.2 Lokale Anwendung von Fluoriden

Um das erhöhte Kariesrisiko bei einer kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen zu kontrollieren, wird besonders die Anwendung von Fluoriden in Form von Zahnpasta, Mundspüllösungen, Lacken und Gelen empfohlen^{1, 42, 126, 168, 225, 238, 258}. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anwendung von fluoridhaltigen Präparaten die Entwicklung von White-Spot-Läsionen wirkungsvoll verhindert^{1, 42, 59, 225, 238}.

2.2.2.1 Kariespräventive Wirkungsmechanismen der Fluoride

Um ihre kariespräventive Wirkung entfalten zu können, muss auf der Schmelzoberfläche ein Fluoridreservoir aufgebaut werden^{35, 172, 213}. Die kariesprotektive Wirkung von Fluoriden wurde von ØGAARD¹⁶⁶ sowie TEN CATE und Mitarbeitern^{231, 232, 234, 235} an Hand folgender einzelner Aspekte beschrieben:

1. Fluoride fördern die Remineralisation^{234, 235}.
2. Fluoride hemmen die Demineralisation²³¹.
3. Inkorporation von Fluorid in das Kristallgitter von Hydroxylapatit²³⁵.
4. Fluoride haben eine inhibierende Wirkung auf den bakteriellen Kohlenhydratstoffwechsel²³².
5. Fluoride bilden ein Fluoridreservoir aus Kalziumfluorid^{166, 235}.
6. Fluoride tragen zur Veränderung der Schmelzoberfläche bei²³⁵.

Entscheidend für die kariespräventive Wirkung von Fluorid ist die Ausbildung einer Kalziumfluorid-Deckschicht, die sich nach der Applikation von Fluorid bildet und ein Fluoriddepot darstellt^{55, 63, 166, 235, 258}. Kommt es bei einem kariösen Angriff zu einer pH-Verschiebung in den sauren Bereich, so gehen Fluoridionen aus diesem

Reservoir in Lösung und stehen direkt am Ort der Demineralisation für Remineralisationsprozesse zur Verfügung^{4, 173, 207}.

Gehen bei einem Säureangriff Hydroxylgruppen aus dem Hydroxylapatitkristall verloren, so können Fluoridionen isomorph in das Kristallgitter substituiert werden¹²². Zudem konnte gezeigt werden, dass Zahnschmelz, der nach vorangegangener Schmelzdemineralisation remineralisiert wurde, eine gesteigerte Säureresistenz besitzt^{55, 155, 221}.

Fluorid wirkt zudem hemmend auf Enzyme des bakteriellen Kohlenhydratmetabolismus und hier speziell auf die Glykolyse. Unter der Einwirkung von Fluorid (2,4 mmol/L NaF bei pH 5,8 auf *S. salivarius*) wird die Enolase inhibiert⁸⁶. Folglich sinken die bakteriellen Laktat- und Energiemengen ab^{86, 87, 232}. Enolase katalysiert die Umwandlung von 2-Phosphoenolglycerat zu Phosphoenolpyruvat. Zudem wirkt Fluorid direkt hemmend auf die membranständige Protonen-ATPase-Aktivität. Das für das Phosphoenolpyruvat-Phosphotransferase-System (PEP-PTS) benötigte aktivierte Phosphat, das aus dem Phosphoenolpyruvat stammt, steht nach der Inhibition durch die Enolase nicht mehr zur Verfügung. Demnach kann keine Glukose über das PEP-PTS aufgenommen und phosphoryliert werden. Durch die direkte Hemmung auf die membranständige Protonen-ATPase-Aktivität und die indirekte Hemmung des Laktat/Protonen-Symporters gelangen weniger Protonen nach extrazellulär, die für die protonenabhängige Aufnahme von Glukose benötigt werden. Bei einem extrazellulären pH-Abfall gehen Fluoridionen eine Bindung mit Protonen ein. Durch die Bildung von Fluorwasserstoff stehen weniger Protonen für die Aufnahme von Glukose zur Verfügung. Fluorwasserstoff gelangt in die bakterielle Zelle, dissoziiert intrazellulär und senkt den pH-Wert ab. Das pH-Optimum der bakteriellen Enzyme liegt im Alkalischen und es kommt zusätzlich zur Inhibition des bakteriellen Stoffwechsels^{86, 87, 232}.

2.2.2.2 Einsatz Fluorid freisetzender Materialien in der Multibracket-Behandlung

Durch die kontinuierliche Freisetzung geringer Fluoridmengen im Bereich der Attachments konnten im Vergleich zu einmaligen hochdosierten Applikationen höhere kariostatische Effekte erzielt werden^{37, 168}. Daher wurden Fluorid

freisetzende Befestigungsmaterialien entwickelt, die schon nach vier Wochen eine kariespräventive Wirkung auf das Bracketumfeld hatten ^{12, 83}.

Glasionomerzemente zeigen eine hohe Fluoridfreisetzung und haben einen auf Demineralisationsprozesse inhibierenden Effekt ^{28, 135}. Jedoch sind die Schmelzhaftwerte von Glasionomerzementen gegenüber Befestigungsmaterialien auf Kompositbasis deutlich geringer ^{14, 28, 190}. Daher wurden Komposite zur adhäsiven Befestigung von Brackets mit Fluorid versetzt ^{28, 177}, um ein zusätzliches Fluoridreservoir zu schaffen, aus dem langfristig Fluoridionen freigesetzt werden ^{12, 28, 51, 83, 177}.

Befestigungsmaterialien auf der Grundlage von Glasionomerzement setzen in den ersten 24 Stunden nach ihrer Applikation die größte Fluoridmenge frei ^{28, 33}. Am dritten Tag wurde von CHATZISTAVROU et al. ³³ für Fuji I nur noch etwa die Hälfte der initialen Fluoridfreisetzung gemessen.

MCNEILL et al. ^{138, 139} haben jedoch gezeigt, dass die Fluoridfreisetzung aus einem kompositbasierten Material (Assure (mit Polysäuren modifiziertes Komposit)) 24 Stunden nach Applikation doppelt so hoch war, wie die Freisetzung von kunststoffmodifiziertem Glasionomerzement (Fuji ORTHO LC). Auch in dieser Studie wurden in den ersten 24 Stunden die höchsten Fluoridkonzentrationen bei allen untersuchten Fluorid freisetzenden Materialien gemessen.

Um die in vitro gemessenen Fluoridkonzentrationen hinsichtlich ihrer kariesprotektiven Wirksamkeit beurteilen zu können, orientierten sich CACCIAFESTA et al. ²⁸ an der von DUBROC und Mitarbeitern ⁵³ angegebenen minimalen Fluoridfreisetzung (Fluoridmenge pro Quadratcentimeter Prüfkörperoberfläche), die pro Tag zwischen 0,5 und 1,0 µg/cm² beträgt. Bei dieser geringen Fluoridfreisetzung konnten in einer In-vivo-Studie an Ratten nach einer Versuchsdauer von 38 Tagen etwa ein Drittel weniger White-Spot-Läsionen beobachtet werden als bei Verwendung eines fluoridfreien Adhäsivsystems zum Befestigen von Brackets ⁵³.

CACCIAFESTA et al. ²⁸ untersuchten über drei Monate die Fluoridfreisetzung verschiedener orthodontischer Befestigungsmaterialien und stellten fest, dass Fuji ORTHO BAND Paste Pak (kunststoffmodifizierter Glasionomerzement zur Bandbefestigung) und Fuji ORTHO LC (kunststoffmodifizierter Glasionomerzement) eine White-Spot-Läsionen reduzierende Wirkung besitzen. Die geringsten

Fluoridfreisetzungen wurden für die Komposite Enlight LV, ConTec LC und Transbond XT (Kontrollgruppe) gemessen. Die Fluoridfreisetzung des Komposers Transbond Plus Light Cure Band Adhesive war höher als die der untersuchten Komposite.

MCNEILL und Mitarbeiter¹³⁹ haben über sechs Monate die Fluoridfreisetzungen von Fuji ORTHO LC, Assure, Python und Transbond XT in deionisiertem Wasser und künstlichem Speichel gemessen. Sie beurteilten die freigesetzten Fluoridmengen der untersuchten Materialien bezüglich ihrer kariesprotektiven Wirksamkeit anhand der von RAWLS¹⁹⁸ postulierten Grenze von 1,5 µg/cm² (Fluoridmenge pro Quadratzentimeter Prüfkörperoberfläche) pro Tag. Dieser Grenzwert wurde unter den gewählten In-vitro-Bedingungen von Assure (mit Polysäuren modifiziertes Komposit) und Fuji ORTHO LC (kunststoffmodifizierter Glasionomerzement) über den Versuchszeitraum von sechs Monaten überschritten. Die initial höchste Fluoridmenge wurde von Assure gefolgt von Fuji ORTHO LC freigesetzt. Python (modifiziertes BisGMA System: Präpolymerisate bestehend aus Glaspartikeln und Acryl-Monomer) setzte die geringsten Fluoridmengen frei und konnte den Grenzwert nicht über den gesamten Versuchsverlauf hinweg erreichen. Transbond XT diente als Kontrollgruppe.

COHEN et al.³⁶ bewerteten ihre Ergebnisse anhand der Angaben von RAWLS¹⁹⁷, wonach eine Fluoridfreisetzung von 0,65 bis 1,3 µg/cm² (Fluoridmenge pro Quadratzentimeter Prüfkörperoberfläche) pro Tag in unmittelbarer Nähe des Befestigungsmaterials bereits eine demineralisationshemmende Wirkung hat. Die orthodontischen Befestigungsmaterialien Fuji ORTHO LC (kunststoffmodifizierter Glasionomerzement), Assure (mit Polysäuren modifiziertes Komposit) und Python (modifiziertes BisGMA System) konnten diese Grenzwerte über den gesamten 30-monatigen Versuchszeitraum hinweg überschreiten. Transbond XT diente als Kontrollgruppe.

JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, NEDWED¹⁵⁸ und ENDT⁶⁰ untersuchten die Fluoridfreisetzungen unterschiedlicher Bracketadhäsive unter dem Einfluss einer Pulver-Wasser-Bestrahlung über einen Zeitraum von 20 Wochen. Projiziert man die von DUBROC und Mitarbeitern⁵³ angegebene kariesprotektive Fluoridkonzentration von 0,5 bis 1,0 µg/cm² pro Tag auf deren Versuchsergebnisse des letzten Messintervalls

(17. bis 20. Woche), so hätte die Fluoridkonzentration mindestens 1,1 ppm betragen müssen. Für die von JOST-BRINKMANN ¹⁰⁵ untersuchten Glasionomerzemente (Ketac-Cem Aplicap, Ionofix), kunststoffmodifizierten Glasionomerzemente (Band Lok, Vivaglass liner, 3M Vitremer luting cement, Fuji-Duet, Photac-Fil-Applicap) und ein mit Polysäuren modifiziertes Komposit (Dyract) konnte diese Fluoridkonzentration überschritten werden. NEDWED ¹⁵⁸ stellte bei den Glasionomerzementen (Ketac-Cem Aplicap, Ionofix), kunststoffmodifizierten Glasionomerzementen (Band Lok, Fuji ORTHO LC), Kompomeren (Dyract AP, Compoglass FLOW) und einem Komposit (FluoroBond VLC) diese karieshemmende Fluoridkonzentration fest. Bei drei der untersuchten Komposite (Excel, Phase II, BonaBond plus protect) lag die gemessene Fluoridkonzentration unter 1,1 ppm.

In der Studie von Endt ⁶⁰ ließen sich bei den Kompositen Fissurit F und Helioseal F Fluoridkonzentrationen von mindestens 1,1 ppm feststellen. Die Komposite Phase II, Excel und Pertac-Hybrid lagen unter dieser Konzentration.

Bei den aufgeführten In-vitro-Studien ^{28, 36, 60, 105, 139, 158} zur Untersuchung der Fluoridfreisetzung orthodontischer Befestigungsmaterialien wurden die Fluoridkonzentrationen mit ionenselektiven Fluoridelektroden bestimmt.

2.3 Pulver-Wasser-Strahlgeräte in der Prophylaxe

2.3.1 Historie

Grundsätzlich kann man Geräte, die eine Oberflächenbehandlung mittels Druckluft und feinen Pulverpartikeln vornehmen, nach deren Abrasionsstärke in zwei Kategorien unterteilen¹⁵³. Man unterscheidet die Luftabrasion (Luft-Pulver-Strahlgeräte) vom Airpolishing (Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte = LPW oder Pulver-Wasser-Strahlgeräte = PWS)¹⁵³.

Bei beiden Methoden wird kinetische Energie frei, wenn das Pulver-Druckluft-Gemisch auf eine Oberfläche trifft¹⁵³. Bei der Luftabrasion wird ein Gas-Partikel-Strom aus Druckluft und einem Abrasivpulver gebildet. Deshalb werden die Geräte im Folgenden als Abrasivstrahler bezeichnet.

Bereits in den 40er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurden die Abrasivstrahler in die Zahnmedizin eingeführt und ursprünglich zur Kavitätenpräparation verwendet. Diese Methode ist eine Alternative zu den rotierenden Instrumenten¹⁸. Die Pulverpartikel aus Al_2O_3 mit einem Durchmesser von etwa 30 μm wurden bei einem Gasdruck zwischen 170 kPa und 585 kPa beschleunigt. Anfänglich wurde zum Erzeugen des Gas-Partikel-Stroms Druckluft genutzt, später hat man diese durch komprimiertes Kohlendioxid ersetzt^{16, 18}. Die Auswahl des Abstandes und Anstellwinkels der Düse zur Oberfläche, die Art und Größe der Pulverpartikel, der gewählte Gasdruck, die Zusammensetzung des Gas-Partikel-Gemisches sowie der Durchmesser der Düsenöffnung sind entscheidende Parameter, die Einfluss auf die Abtragsleistung haben^{16, 18}.

Bei der Einführung der Abrasivstrahler durch Black im Jahre 1945 schlug er vor, diese auch zum Beseitigen fest haftender Beläge und zur Zahnsteinentfernung zu nutzen, jedoch mit der Einschränkung dabei einen geringeren Gasdruck zu verwenden. Außerdem machte er den Vorschlag, für diesen Einsatzbereich das weichere Abrasivpulver Bimsstein zu nutzen¹⁸.

BAILEY und PHILLIPS⁸ verglichen den Schmelzabtrag bei Anwendung eines Abrasivstrahlers mit Dolomit-Pulver mit der Verwendung eines rotierenden Gummikelchs mit Bimssteinmehl. Es stellte sich heraus, dass der Abrasivstrahler einen gleichmäßigen jedoch sehr hohen Schmelzabtrag erzeugte (40 μm Schmelzabtrag nach 15 Sekunden Bearbeitungszeit bei einem Düsenabstand von 5 mm). Im Gegensatz dazu betrug der Schmelzverlust bei Verwendung eines

Gummikelchs mit Bimsstein bei einer Bearbeitungszeit von 25 Sekunden und 5826 Umdrehungen pro Minute maximal 4 µm. Die Autoren beschrieben außerdem, dass der Düsenabstand von der Oberfläche einen entscheidenden Einfluss auf die Abrasivität besitzt. Auch WHITE und PEYTON²⁴⁷ wiesen auf die aggressiven Eigenschaften hin und rieten von einem routinemäßigen Einsatz im Rahmen der Prophylaxe ab.

1955 schränkte auch BLACK¹⁷ die Indikation in der Prophylaxe ein. Abrasivstrahler sollten nur zum Entfernen schwerer Zahnverfärbungen eingesetzt werden, wobei zusätzlich Scaler und eine nachfolgende Politur empfohlen wurden.

In den letzten 20 Jahren haben die Abrasivstrahler erneut Einzug in die Zahnheilkunde gehalten, sei es zur Oberflächenbehandlung bei adhäsiven Verankerungstechniken¹⁵⁶ oder zur minimalinvasiven Kavitätenpräparation^{80, 145}.

Seit etwa 35 Jahren wird das Airpolishing zur professionellen Zahnreinigung genutzt⁷⁵. Im Gegensatz zum Abrasivstrahler wird beim Airpolishing dem Luft-Pulver-Gemisch zusätzlich Wasser zugesetzt. Im Folgenden wird deshalb die Bezeichnung Pulver-Wasser-Strahlgerät (PWS) benutzt. Die Funktionsweise eines PWS ohne Wasserbeimischung ist prinzipiell mit einem Abrasivstrahler vergleichbar. Im PWS erfolgt die Leitung des Pulvers unter Luftdruck beziehungsweise des Spraynebels aus Wasser getrennt voneinander bis zum Düsenausgang. Erst nach deren Austritt kommt es zum Vermischen und die Pulverpartikel werden von zerstäubtem Wasser umgeben. Das Gemisch aus Reinigungspulver, Druckluft und Wasser wird mit einem Luftdruck von 400 bis 800 kPa und einem Wasserdruck von 100 bis 500 kPa auf die Zahnoberfläche appliziert¹³¹. JOST-BRINKMANN¹⁰⁵ sowie PETERSILKA et al.¹⁸⁶ konnten zeigen, dass die austretende Pulvermenge bei einigen untersuchten Geräten vom Füllstand der Pulverkammer abhängt.

Mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten kann bei Patienten mit festsitzender Apparatur Plaque effizient entfernt werden^{61, 106}, da das zeitaufwändige Ausligieren des Bogens nicht erforderlich ist. JOST-BRINKMANN et al.¹¹⁰ haben festgestellt, dass durch den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten eine deutliche Zeitersparnis erreicht werden kann und die Zahnreinigung bei Patienten ohne Brackets nur drei Minuten beansprucht.

2.3.2 Auswirkungen der Pulver-Wasser-Strahltechnik auf orale Gewebe und zahnärztliche Werkstoffe

2.3.2.1 Wirkung auf Hartgewebe

Schmelz

Der Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf den Zahnschmelz wurde in verschiedenen Studien untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass es bei der Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten nur zu einer geringen Aufrauung der Schmelzoberfläche kommt^{24, 29, 73, 96, 100, 134, 250}. Eine anschließende Glättung der Oberfläche hielten verschiedene Autoren für nicht erforderlich^{89, 239}.

In zahlreichen Studien wurden Rinderzähne anstelle menschlicher Zähne verwendet, um die Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten zu untersuchen, da boviner und humaner Schmelz große Ähnlichkeiten besitzen^{105, 106, 123, 146}.

JOST-BRINKMANN¹⁰⁵ verglich die Wirkung vier verschiedener Pulver-Wasser-Strahlgeräte (Clean Jet, Prophy-Jet-30, Prophy-Unit und Air-Flow-S1; Abstand: 5±1 mm; Bestrahlungsdauer: 60 s; Winkel: 90°; Reinigungspulver: Natriumbikarbonat) mit der Anwendung dreier unterschiedlicher Prophylaxepasten auf bovinem Zahnschmelz. Die Anwendung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte, außer bei Verwendung des Clean-Jet-Gerätes, führte entweder zu glatteren Oberflächen als die drei verwendeten Prophylaxepasten oder unterschied sich nicht von diesen. Wurden diese drei Geräte bei minimaler (ohne) Wasserzufuhr betrieben, so hatte dies die glattesten Oberflächen zur Folge. Von der klinischen Anwendung dieser Geräteeinstellung muss jedoch Abstand genommen werden, da dies zu Schäden an den Schleimhäuten führt. Eines der untersuchten Strahlgeräte (Clean-Jet) hinterließ jedoch in allen Einstellungen signifikant größere mittlere Rautiefen als die mit Prophylaxepasten bearbeiteten Vergleichsgruppen. Auch NEDWED¹⁵⁸ machte deutlich, dass Strahlgeräte mit Natriumbikarbonat als Strahlmittel rauere Oberflächen erzeugen als die mit Polierpasten bearbeiteten Kontrollgruppen.

STRAND und RAADAL²²⁶ verglichen die Reinigungsleistung von Natriumbikarbonat zur Fissurenreinigung (Entfernen organischer Materialien) mit der Anwendung von Gummikelch und Bimsstein. Sie stellten rasterelektronenmikroskopisch fest, dass Fissuren, die mit einem PWS-Gerät bearbeitet wurden (Prophy-Unit 2000; Abstand: 3-5 mm; Bestrahlungsdauer: 60 s; Winkel: 90°; Reinigungspulver: Natrium-

bikarbonat), signifikant besser gereinigt waren als Bereiche, die mit Gummikelch und Bimsstein gereinigt wurden.

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass bei der Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten in Kombination mit Natriumbikarbonat bis zu einer Anwendungsdauer von 60 Sekunden keine mit bloßem Auge sichtbaren Veränderungen auf naturbelassenen, gesunden Schmelzoberflächen erkennbar waren^{24, 73, 250}. Nach der Anwendung dieser Reinigungstechnik im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze fanden SUHSMANN et al.²²⁹ rasterelektronenmikroskopisch vereinzelt kraterförmige Aussprengungen besonders im Bereich des Wurzelzements. Diese ließen sich nach einer Bestrahlungsdauer von 30 Sekunden feststellen. Nach einer Anwendungsdauer von 10 oder 20 Sekunden konnte hingegen mit der angewandten Methode noch kein Substanzverlust festgestellt werden.

Auf demineralisierten Schmelzflächen haben Pulver-Wasser-Strahlgeräte mit Natriumbikarbonat als Strahlmittel eine gesteigerte abrasive Wirkung^{24, 89, 116, 212, 239, 250}. In einer polarisationsmikroskopischen Auswertung wurde ein Volumenverlust von einem Drittel des Gesamtvolumens der demineralisierten Schmelzareale bei PWS-Anwendung beobachtet²¹².

HÄBERLEIN und SCHMID¹³¹ untersuchten in In-vitro-Experimenten an Rinderzähnen die abrasiven Eigenschaften von Glycin auf Zahnschmelz. Die rasterelektronenmikroskopische Auswertung zeigte, dass im Gegensatz zu Natriumbikarbonat das Bestrahlen mit Glycin intakten Schmelz nicht zerstört und keinen Verschleiß verursacht.

Zwei Arbeitsgruppen^{41, 243} bewerteten die Anwendung von Kalziumkarbonat auf Schmelzflächen als unbedenklich. DEMARTINES⁴¹ empfiehlt sogar ein Verwenden von Kalziumkarbonat anstelle von Natriumbikarbonat auf Schmelzflächen, da dadurch geringere Substanzverluste zu verzeichnen seien.

Dentin

Auf Dentin wirken Pulver-Wasser-Strahlgeräte bei Verwendung von Natriumbikarbonat-Pulver sehr stark abrasiv^{15, 40, 73, 105}. Dabei korreliert das Ausmaß des Materialabtrages mit der Einwirkzeit und dem Mineralisationsgrad der verschiedenen Zonen des Dentins^{15, 40}.

JOST-BRINKMANN ¹⁰⁵ untersuchte die Wirkung von Prophy-Jet-30 und Air-Flow-S1 auf Dentin von Rinderzähnen (Abstand: 5 ± 1 mm; Bestrahlungsdauer: 60 s; Winkel: 90° ; maximale Pulver- und Wassereinstellung). Für das Prophy-Jet-30-Gerät wurde ein mittlerer Dentinabtrag von $339 \mu\text{m}$ gemessen. Die Anwendung des Air-Flow-S1-Gerätes zeigte sogar einen mittleren Dentinabtrag von $641 \mu\text{m}$.

Bereits nach einer Bestrahlungsdauer von 40 Sekunden mit einem Siroflow-Gerät fanden BESTER et al. ¹⁵ einen Dentinabtrag von mehr als $700 \mu\text{m}$ (Abstand: 4 mm). Da das Gerät während der Anwendung seine Position unverändert beibehielt, konnte eine Kraterbildung im Dentin beobachtet werden. Der Dentinabtrag war in seinem zeitlichen Verlauf ungleichmäßig und nahm mit zunehmender Strahldauer überproportional zu.

Ebenfalls deutliche Substanzverluste konnten von DE BOEVER und VANDE VELDE ⁴⁰ in einer rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung an extrahierten Zähnen gezeigt werden. Dabei betragen die Dentinverluste nach Anwendung eines Prophy-Jet-Gerätes für 30 Sekunden bis zu $200 \mu\text{m}$. Angesichts dieser deutlichen Ergebnisse raten die Autoren ^{15, 40, 105} von einer PWS-Anwendung mit Natriumbikarbonat auf Dentin ab.

Um Dentin mit der Pulver-Wasser-Strahltechnik reinigen zu können, wurden Pulver auf Glycinbasis eingeführt, die weniger abrasiv wirken, als Reinigungspulver auf der Basis von Natriumbikarbonat ¹⁸⁴. PETERSILKA et al. ¹⁸⁴ verglichen die Wirksamkeit von Glycinpulvern mit Natriumbikarbonatpulver auf Wurzelzement und -dentin bei wechselnden Arbeitsparametern (PWS: Air-Flow-S1, Winkel: 90° , Dauer: 20 s, Abstand: 2 mm, 4 mm und 6 mm; Pulver- und Wassereinstellung: niedrig, mittel und hoch). Das Glycinpulver Clinpro Prophy Powder zeigte bei gleicher Parameter-einstellung signifikant geringere mittlere Defekttiefen als Natriumbikarbonatpulver (Glycin: $33,9 \pm 19,6 \mu\text{m}$, NaHCO_3 : $163,1 \pm 71,1 \mu\text{m}$).

Hinsichtlich der abrasiven Wirkung von Natriumbikarbonat und Kalziumkarbonat gegenüber Dentin gibt es unterschiedliche Auffassungen ^{179, 243}. PELKA et al. ¹⁷⁹ verglichen die abrasive Wirkung vier unterschiedlicher Reinigungspulver (Airflow powder, Cleaning powder [Natriumbikarbonat], ClinPro powder [Glycin], PROPHYpearls [Kalziumkarbonat]) auf Wurzel-dentin in vitro. Die Autoren konnten zeigen, dass die Verwendung von Kalziumkarbonat als Reinigungspulver auf Wurzel-dentin etwa vergleichbare Defekttiefen und -volumina zur Folge hat wie Pulver

auf der Basis von Natriumbikarbonat. Die abrasive Wirkung beider Pulver ist größer als die von Glycin (Pulver-Wasser-Strahlgeräte: Prophyflex 3 [KaVo] und EMS Handy [EMS]; Anwendungsdauer: 5, 10 und 20 s; Winkel: 90°; Abstand: 3 mm). Eine andere Arbeitsgruppe²⁴³ kam zu dem Ergebnis, dass PROPHYpearls (Kalziumkarbonat) keine übermäßigen Substanzverluste oder Niveauunterschiede zwischen Schmelz- und Dentinflächen verursacht.

SCHWIENIEK²¹⁶ untersuchte den Einfluss verschiedener Prophylaxepulver (PROPHYpearls [Kalziumkarbonat] und Clinpro Prophy Powder [Glycin]) auf die Verbundfestigkeit von Adhäsiven. Es sollte geklärt werden, ob eine Reinigung der Dentinoberfläche mit Prophylaxepulvern die adhäsive Interaktion beeinflusst. Es zeigte sich, dass die Anwendung von Kalziumkarbonat eine signifikante Verschlechterung bei allen untersuchten Adhäsiven bewirkte. Auch weitere Studien zeigten den nachteiligen Einfluss karbonathaltiger Pulver bezüglich der Dentinhaftwerte^{69, 70, 160}.

2.3.2.2 Wirkung auf Weichgewebe

Die Wirkung des Airpolishings auf die Weichgewebe wurde in verschiedenen Studien untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass bei PWS-Anwendung mit Natriumbikarbonat lokale Schäden und Irritationen am Zahnfleisch auftreten, die etwa nach sechs bis sieben Tagen abgeheilt sind^{10, 150, 242}.

KONTTURI-NÄHRI et al.¹¹⁷ konnten elektronenmikroskopisch eine positive Korrelation zwischen dem Entzündungsgrad der Weichgewebe vor Behandlungsbeginn und dem Erosionsgrad nach dem Airpolishing nachweisen.

Histologische Untersuchungen bei Hunden zeigten nach einem Airpolishing mit Natriumbikarbonat Erosionen der keratinisierten und der epithelialisierten Zellschichten an der gesunden Gingiva¹²⁰. Die Anwendungsdauer der Behandlung hatte maßgeblichen Einfluss auf die Gewebsschädigung. Betrug die Anwendungsdauer weniger als 5 Sekunden bei einem Abstand von 5 mm (bestrahlte Gingivafläche 5 x 7 mm), so kam es zu einer ausgeprägten Erosion im Bereich der keratinisierten Zellschicht (44-77 % der Schicht) und einer minimalen Erosion der Epithelschicht (25-26 % der Schicht). Wurde eine Anwendungsdauer zwischen 10 und 20 Sekunden gewählt, so konnten noch ausgeprägtere Erosionen der

epithelialen Zellschicht (33-61 % der Schicht) beobachtet werden. Überschritt die Anwendungsdauer 20 Sekunden bei einem Abstand von 5 mm (bestrahlte Gingivafläche 5 x 7 mm), so traten partiell komplette Verluste des Epithels mit Freilegung des darunterliegenden Bindegewebes auf ¹²⁰.

Bei Verwendung von Reinigungspulvern auf Glycinbasis zur Beseitigung eines subgingivalen Biofilms sind Gingivareizungen weniger stark ausgeprägt ¹⁸¹. PETERSILKA et al. ¹⁸¹ haben zeigen können, dass die Anwendung von Glycinpulver keine negativen Wirkungen auf die marginale Gingiva (Epithel und Bindegewebe) hat. Die Studie hat die Auswirkungen von Glycin, Natriumbikarbonat und Küretten auf die Gingiva verglichen. Nach Airpolishing mit Glycinpulver für 5 Sekunden sprachen die klinischen und histologischen Zeichen für geringe Erosionen in den oberflächlichen Epithelschichten (Winkel zur Wurzeloberfläche: 60° bis 90°). Im Gegensatz dazu wies die Gingiva nach Verwendung von Natriumbikarbonat oder dem subgingivalen Debridement mit Küretten (bis keine Plaque mehr am Instrumentenende sichtbar war) eine erhebliche Beschädigung bis in den subepithelialen Bereich auf. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit anderen klinischen Studien ^{65, 152, 187, 188}, die ebenfalls die Anwendung von Airpolishing auf Glycinbasis für parodontale Bereiche befürworten.

Die Aminosäure Glycin besitzt verschiedene Wirkungen, die aus immunologischer Sicht als bedenklich einzuschätzen sind, da Glycin wichtige Mediatoren in Entzündungsprozessen modulieren kann ^{196, 224}. In verschiedenen klinischen Studien wurden dennoch keine Nachteile bezüglich gingivaler Heilungsprozesse nach der Anwendung von Glycinpulver gegenüber der Handinstrumentierung beobachtet ^{152, 181}. Beim subgingivalen Airpolishing war die Patientenakzeptanz höher als bei der Anwendung von Handinstrumenten ^{64, 152, 187}. Ebenfalls mehr Patientenakzeptanz als die herkömmliche Behandlung mit Handinstrumenten für den subgingivalen Bereich zeigte das Vector-System ²⁵, in dem einige Autoren eine Alternative zur Anwendung von Glycinpulver oder Handinstrumenten sehen ^{54, 84, 149}. Bei diesem ultraschall-aktivierten Partikelverfahren sorgen linear-vertikale Schwingungsbewegungen und eine Hydroxylapatit-Suspension dafür, dass mikrobielle Biofilme zerstört werden ^{54, 149}. Es konnte in klinischen Studien zur Parodontitistherapie gezeigt werden, dass die Ergebnisse des Vector-Systems mit denen nach Handinstrumentierung vergleichbar sind ^{84, 149}.

Durch die Anwendung von Druckluft kann es zu Emphysemen kommen. LIEBENBERG und CRAWFORD¹²⁵ beschrieben das Auftreten von Emphysemen nach supragingivaler PWS-Anwendung mit Natriumbikarbonat. HEYMAN und BABAYOF⁹⁷ sahen bei 9 % der untersuchten 75 Emphyseme einen Zusammenhang mit der supragingivalen Anwendung von Natriumbikarbonat. In den beschriebenen klinischen Studien zur Anwendung des Glycinpulvers traten keine Emphyseme auf, unabhängig davon, ob das Pulver in vertikaler Richtung^{65, 182, 187, 188} oder mit Hilfe einer speziellen Applikationsdüse (AirFlow Master; EMS) horizontal in die Tasche appliziert wurde¹⁵². Im Rahmen der unterstützenden Parodontitistherapie wurden auch bei der Verwendung von Reinigungspulvern auf der Basis von Glycin Fälle von Luftemphysemen beschrieben, wobei nach wenigen Tagen (teilweise nach systemischer Antibiose) ein Abklingen der Symptome zu beobachten war¹⁸³.

2.3.2.3 Wirkung auf zahnärztliche Werkstoffe

Komposite, Kompomere, (kunststoffmodifizierte) Glasionomerezemente und Glatflächenversiegler

In zahlreichen Studien wurden nach Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten (speziell mit Natriumbikarbonat) Aufrauungen und Abrasionen der Materialoberfläche festgestellt^{57, 61, 100, 130, 158, 178}.

Auf die Studie von NEDWED¹⁵⁸ wird im Folgenden ausführlich eingegangen, da die vorliegende Arbeit für den Bereich der Fluoridbestimmung ein ähnliches Studiendesign besitzt. Zudem fand sie einen Zusammenhang zwischen Oberflächenbearbeitung, Zunahme der Rauheit und einem Anstieg der Fluoridfreisetzung bei Komposit-basierten Materialien. Da in dieser Arbeit nur die Fluoridfreisetzung in Abhängigkeit von der PWS-Anwendung untersucht wurde, waren ihre Ergebnisse hilfreich bei der Beurteilung der eigenen Resultate.

NEDWED¹⁵⁸ untersuchte, welche Auswirkungen eine regelmäßige Pulver-Wasser-Bestrahlung auf die Oberflächen verschiedener Komposite (FluoroBond VLC [Versiegler], BonaBond plus protect, Phase II, Excel), Kompomere (Dyract AP, Compoglass Flow) und (kunststoffmodifizierte) Glasionomerezemente (Band-Lok, Fuji ORTHO LC, Ionofix, Ketac-Cem Aplicap) hat. Es wurden aus den 10 verschiedenen Materialien je 44 scheibenförmige Prüfkörper mit einem Durchmesser von 7 mm und einer Dicke von 1,5 mm hergestellt. Die Prüfkörper lagerten für die Versuchsdauer von 20 Wochen in Polypropylen-Röhrchen mit 5 ml deionisiertem Wasser bei 37 °C. In regelmäßigen Abständen (nach 24 Stunden, 7 Tagen, 4, 8, 12 und 16 Wochen) wurden die Prüfkörper in neue Polypropylen-Röhrchen mit frischem Wasser gegeben. Die Bearbeitung der Oberfläche mit einem PROPHYflex 2 [KaVo] und einem Reinigungspulver auf der Basis von Natriumbikarbonat erfolgte zu den letzten vier Zeitpunkten. Die Oberflächenbearbeitung wurde in 3 unterschiedlichen Einstellungen bei je 11 Prüfkörpern vorgenommen; weitere 11 Prüfkörper pro Material dienten als unbestrahlte Kontrollgruppe. Durch das Abstrahlen kam es bei allen Materialien zu einer signifikanten Rauigkeitszunahme. Die Steigerung des Mittenrauwertes betrug im Durchschnitt weniger als 3,5 µm. Phase II und Excel zeigten eine deutlich erhöhte Ausgangsrauheit, wobei durch die Bestrahlung eine vergleichsweise geringe Rauheitserhöhung die Folge war. Die Glasionomerezemente Ionofix und Fuji ORTHO LC zeigten die stärkste Rauigkeitserhöhung mit gleichzeitig

höchsten Rauheitswerten nach der Oberflächenbearbeitung. Die Kompomere Dyract AP und Compoglass Flow besaßen sowohl vor als auch nach der Bearbeitung die geringsten Oberflächenrauheiten. Glasionomerezemente zeigten vor der Bearbeitung eine geringere Rauheit als Komposite. Durch die Oberflächenbearbeitung nahm die Rauheit aber so stark zu, dass die Glasionomerezemente anschließend rauher waren oder ähnliche Rauheitswerte besaßen wie die Komposite. Der Substanzabtrag variierte bei 9 der 10 Materialien zwischen 40 µm und 150 µm. Eine erhöhte Empfindlichkeit wurde bei Ionofix festgestellt (430 µm). Ein ebenfalls relativ hoher Abtrag wurde bei den Glasionomerezementen Ketac-Cem Aplicap und Fuji ORTHO LC sowie dem Versiegler FluoroBond VLC beobachtet. Die höchste Resistenz gegen eine Oberflächenveränderung durch PWS-Behandlung war bei dem Komposit BonaBond plus protect und dem Kompomer Compoglass Flow festzustellen. Zusammenfassend ließ sich festhalten, dass Glasionomerezemente weniger bestrahlungsresistent sind als Komposite. Kompomere zeigten nach dem Bestrahlen ähnliche Veränderungen wie Komposite.

PELKA et al.¹⁷⁸ untersuchten 6 restaurative Materialien (Tetric EvoCeram, Tetric Flow, Grandio Flow, Admira Seal, Grandio Seal, Ionofil Molar AC/Quick) auf deren Defekttiefen und -volumina nach Anwendung unterschiedlicher Strahlmittel (Natriumbikarbonat und Glycin). Die übrigen Versuchsbedingungen waren: Abstand: 5 mm, Bestrahlungszeit: 10 Sekunden, Winkel: 10°, Gerät: Prophyflex 3 [KaVo Dental]. Es kamen drei verschiedene Strahlmittel (Acclean Air Preventive Powder [Natriumbikarbonat], Air-Flow Prophylaxis Powder [Natriumbikarbonat], ClinPro Prophy Powder [Glycin]) zur Anwendung. Die profilometrische Auswertung zeigte, dass ClinPro Prophy Powder die geringsten Defekttiefen und -volumina zur Folge hatte. Bei Tetric EvoCeram wurde der geringste Substanzverlust beobachtet. Die größten Defekttiefen und -volumina wiesen die Flowables (Tetric Flow und Grandio Flow) auf. Die Defekttiefen und -volumina des Fissurenversieglers Admira Seal waren vergleichbar mit denen des Glasionomerezementes Ionofil Molar AC/Quick, die jedoch signifikant geringer waren als die der Flowables.

ENGEL et al.⁶¹ verglichen die Wirkungen unterschiedlicher Strahlmittel (Natriumbikarbonat und Glycin) auf 3 verschiedene Oberflächenversiegler (= Glattflächenversiegler). Die drei Glattflächenversiegler (Pro Seal, OrthoSolo, Seal&Protect) wurden auf je 30 extrahierte Zähne aufgetragen. Im Anschluss daran

wurden die Oberflächen bei je 10 Zähnen für 5 beziehungsweise 10 Sekunden mit einem Strahlmittel auf der Basis von Natriumbikarbonat oder für 10 Sekunden mit einem Glycin-basierten Strahlmittel behandelt (Gerät: Air-Flow S1 [EMS], Abstand: 5 mm). Nach Behandlung mit Natriumbikarbonat für 5 Sekunden war der Versiegler ausgedünnt und wies Lücken auf. Nach einer Bearbeitungszeit von 10 Sekunden war der Versiegler nahezu abgetragen. Die Anwendung des Glycin-basierten Pulvers hatte kleinere Schäden des Oberflächenversieglers verursacht, aber auch nach Glycin-Bestrahlung war die Versiegelung nicht mehr intakt.

Kieferorthopädische Brackets

WILMES et al. ²⁵¹ untersuchten die Auswirkungen einer Bestrahlung kieferorthopädischer Brackets mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät unter Verwendung unterschiedlicher Reinigungspulver. Es wurden Brackets aus Stahl, Keramik und Kunststoff für 5, 10, 30 und 60 Sekunden mit einem Air-Flow S1-Gerät unter Verwendung von Clinpro Prophy Powder [Glycin] und AIR-FLOW Pulver CLASSIC [Natriumbikarbonat] bestrahlt. Eine rasterelektronenmikroskopische Analyse der Bracketoberflächen ergab nach Bestrahlung von Keramikbrackets mit Clinpro Prophy Powder und AIR-FLOW Pulver CLASSIC keine Veränderungen der Oberflächen. Stahlbrackets zeigten bereits nach 10 Sekunden Bestrahlung mit AIR-FLOW Pulver CLASSIC leichte Aufrauungen, die mit zunehmender Bestrahlungsdauer noch deutlicher wurden. Bei Verwendung von Clinpro Prophy Powder zum Bestrahlen der Stahlbrackets konnten jedoch im Vergleich zur Kontrollgruppe keine Aufrauungen festgestellt werden. Nach einer Bestrahlungsdauer von 5 und 10 Sekunden von Kunststoffbrackets mit Clinpro Prophy Powder waren auf der Oberfläche der schon zuvor rauen Kunststoffbrackets keine weiteren Veränderungen vorzufinden. Erst nach 30 und 60 Sekunden wurden zusätzliche Veränderungen deutlich.

Bei der Anwendung von AIR-FLOW Pulver CLASSIC waren an Kunststoffbrackets bereits nach 5 Sekunden zusätzliche Oberflächenveränderungen vorzufinden. Nach einer Anwendungsdauer von 60 Sekunden waren bei den Proben beider Reinigungspulver starke Aufrauungen sichtbar. Wobei die Oberfläche nach Anwendung von Natriumbikarbonat gröbere und stärkere Aufrauungen besaß.

Auch JOST-BRINKMANN und RADLANSKI ¹⁰⁹ untersuchten, ob durch die Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Natriumbikarbonat als Reinigungspulver) eine veränderte Bracketoberfläche entsteht. Stahl- und Keramikbrackets zeigten nach der Anwendung von PWS-Geräten keine klinisch relevanten Veränderungen der Oberfläche. Bei Kunststoffbrackets konnten durch die Oberflächenbestrahlung deutliche Veränderungen beobachtet werden. Es kam zur Freilegung von Füllerpartikeln, zu Kantenabrundungen und zu Stufenbildungen zwischen Stahlslot und Kunststoff.

2.3.3 Indikationen für den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten

Aus dem unter 2.3 Beschriebenen ergeben sich für die Pulver-Wasser-Strahltechnik folgende Indikationsbereiche:

Entfernen von Verfärbungen und Plaque von Zahnoberflächen

Die Pulver-Wasser-Strahltechnik bietet die Möglichkeit, oberflächliche Ablagerungen und Verfärbungen durch ihre abrasive Wirkung zu entfernen ^{40, 110}. Hinsichtlich der Reinigungsergebnisse stehen Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PWS-Geräte) der konventionellen Anwendung von Gummikelchen mit Bimssteinpulver oder Prophylaxepasten in nichts nach ^{195, 242}. Mit Glycin als Reinigungspulver besteht zudem die Möglichkeit, den Anwendungsbereich auf weichteilnahe Schmelzareale und freiliegende Wurzeloberflächen auszudehnen ¹⁸⁴.

Reinigung der Fissuren vor Fissurenversiegelung

Es gibt eine Vielzahl von Reinigungstechniken zur Vorbereitung von Fissuren vor dem Aufbringen des Versiegeler, wobei MULLER-BOLLA et al. ¹⁵⁷, SIMONSEN und Neal ²²² sowie STRAND und RAADAL ²²⁶ auf die bessere Benetzung der Oberfläche nach PWS-Anwendung hinwiesen.

Einsatz in der Orthodontie

Für die professionelle Zahnreinigung bei Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen haben verschiedene Autoren Pulver-Wasser-Strahlgeräte empfohlen ^{61, 106}. JOST-BRINKMANN und RADLANSKI ¹⁰⁹ sowie WILMES et al. ²⁵¹ untersuchten die Wirkung einer PWS-Anwendung auf Brackets.

Ausgeprägte Oberflächenveränderungen zeigten sich bei Verwendung von Natriumbikarbonat auf Kunststoffbrackets^{109, 251}. Die Verwendung von Glycin als Reinigungspulver hatte hingegen nur sehr geringe Veränderungen zur Folge²⁵¹. Eine Oberflächenbehandlung mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät vor dem Inserieren von Brackets wird von einigen Autoren befürwortet^{75, 217}. Andere empfehlen, Pulver-Wasser-Strahlgeräte nicht nur zur Plaquebeseitigung zu nutzen, sondern auch um Adhäsivreste nach der Bracketentfernung zu beseitigen^{47, 89, 189}.

Weitere Indikationsbereiche für die Pulver-Wasser-Strahltechnik finden sich in der unterstützenden Parodontitistherapie zum subgingivalen Debridement^{65, 152, 187, 188}, zum Reinigen von supragingivalen Implantatoberflächen¹⁴⁴ sowie zur Behandlung von Mukositis und Periimplantitis^{114, 209}.

3 FRAGESTELLUNGEN

In der vorliegenden In-vitro-Studie sollte geprüft werden, ob durch regelmäßige Oberflächenbearbeitung fluoridhaltiger Bracketadhäsive mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten die Fluoridfreisetzung beeinflusst wird.

Folgende Fragen wurden als Kernpunkte der Untersuchung angesehen:

- Wie ist der zeitliche Verlauf der Fluoridfreisetzung verschiedener Bracketadhäsive?
- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Bestrahlungspulver und Einstellungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung?
- Bestehen Zusammenhänge zwischen Art der Integration der Fluoridverbindungen im Adhäsiv und einer möglichen Steigerung der Freisetzung durch die oberflächliche Bestrahlung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten?

Folgende Hypothesen galt es zu belegen oder zu entkräften:

- Durch die PWS-Anwendung kann eine generelle Steigerung der Fluoridfreisetzung erreicht werden.
- Die Geräteeinstellung ohne Wasserzufuhr hat höhere Fluoridfreisetzungen zur Folge als die Geräteeinstellung mit maximaler Wasserzufuhr.
- Die PWS-Anwendung mit Kalziumkarbonat als Reinigungspulver führt zu höheren Fluoridfreisetzungen.

4 MATERIALIEN UND METHODEN

4.1 Materialien

4.1.1 Pulver-Wasser-Strahlgeräte

4.1.1.1 Pulver-Wasser-Strahlgerät easyjet pro

Eine Hälfte der Prüfkörper wurde mit dem Pulver-Wasser-Strahlgerät (PWS) easyjet pro (Abb. 1) bearbeitet. Über die MULTIflex-Kupplung wurde das easyjet pro während der Versuche am Turbinenanschluss des Systems Sirona M1+ betrieben.

Das PWS besteht aus Sprayhandstück, Pulverkammer und Turbinenadapter. Das easyjet pro wurde während der Versuche mit maximalem Wasserdurchfluss betrieben. Dies wurde an der MULTIflex-Kupplung¹¹¹ eingestellt. Dazu wurde der Drehring der Kupplung so verschoben, dass sich die beiden roten Markierungen genau gegenüberstanden (Abb. 2). Nach jeder Anwendung des PWS aller 28 Tage wurde dieses vor erneuter Benutzung nach Herstellerangaben mit einer Reinigungsnadel gereinigt¹⁴⁰.

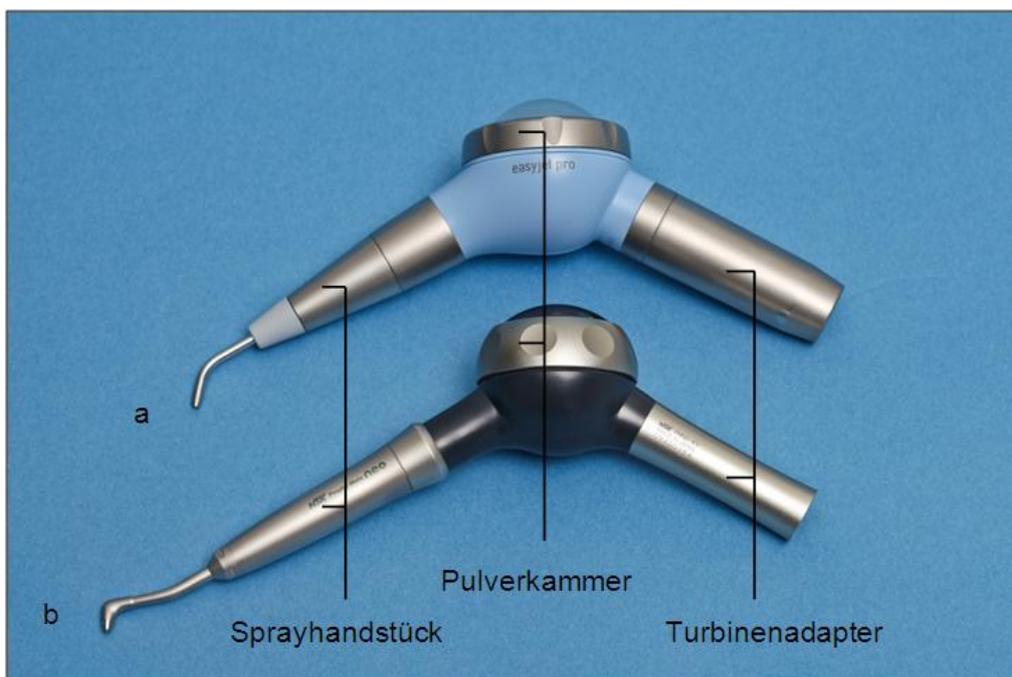


Abb. 1 Die in dieser Studie verwendeten Pulver-Wasser-Strahlgeräte.

a: easyjet pro (Bestellnr.: 05150021, mectron, Köln Dellbrück, Deutschland)

b: Prophy-Mate neo (Bestellnr.: Y135-031, NSK Europe, Eschborn, Deutschland)

4.1.1.2 Pulver-Wasser-Strahlgerät Prophy-Mate neo

Für die Oberflächenbearbeitung der anderen Hälfte der Prüfkörper kam alternativ zum easyjet pro das Pulver-Wasser-Strahlgerät Prophy-Mate neo (Abb. 1) zum Einsatz. Auch dieses PWS ist aus Sprayhandstück, Pulverkammer und Turbinenadapter aufgebaut. Das PWS wurde ebenfalls am Turbinenanschluss des Systems Sirona M1+ betrieben. Auch das Prophy-Mate neo wurde während der Versuche mit maximalem Wasserdurchfluss betrieben. Dies wurde gleichermaßen an der MULTIflex-Kupplung ¹¹¹ eingestellt (Abb. 2). Die Reinigung des Gerätes erfolgte auch alle 28 Tage nach Herstellerangaben mit der mitgelieferten Reinigungsbürste und -draht ¹⁶⁴.

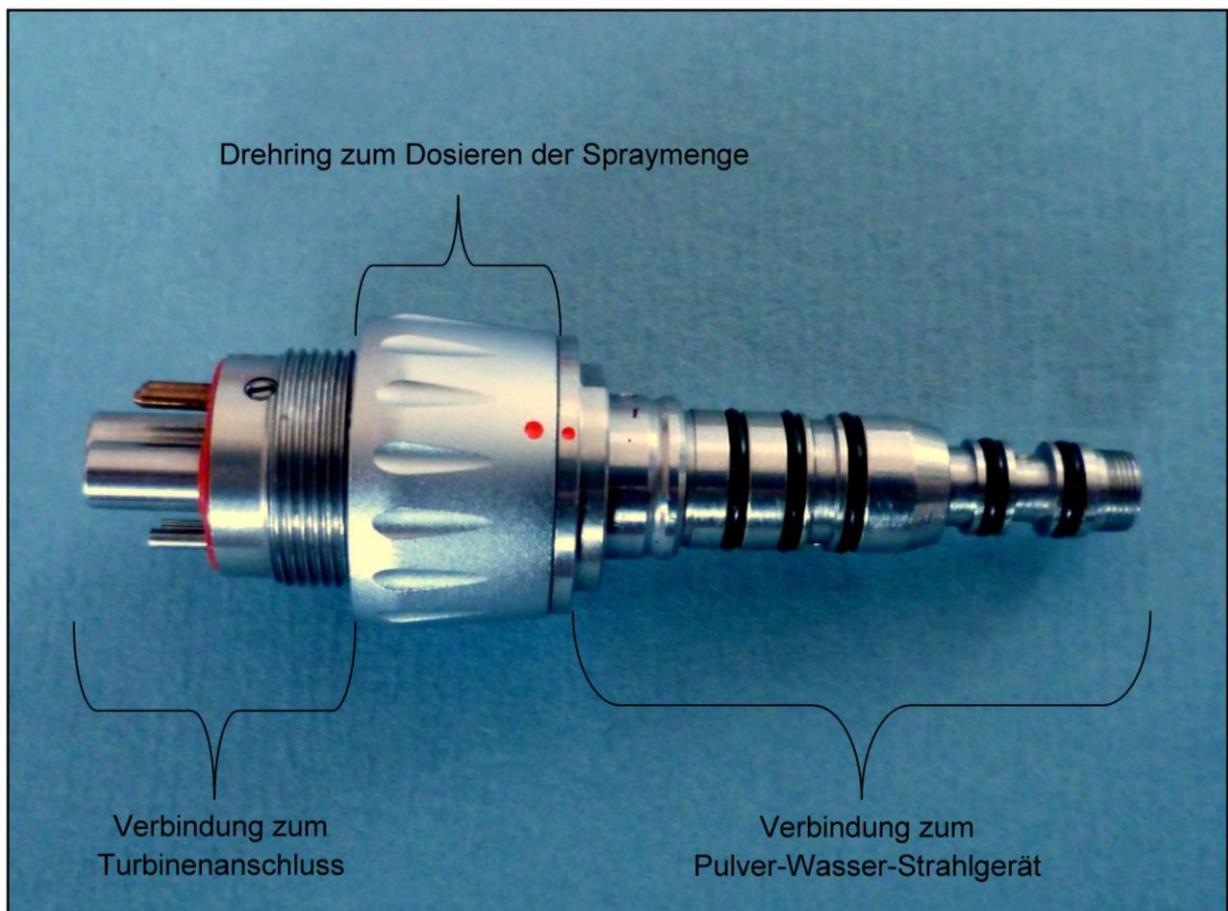


Abb. 2 MULTIflex-Kupplung (MULTIflex-LUX-Kupplung 465 LRN, KaVo Dental, Biberach, Deutschland).

4.1.2 Reinigungspulver

Bei den verwendeten Pulvern handelt es sich um FLASH pearl, Clinpro Prophy Powder und prophylaxis powder (Abb. 3).

FLASH pearl ist ein Reinigungspulver aus Kalziumkarbonat-Partikeln, die der Hersteller als kugelförmig beschreibt¹⁶¹. Durch die Kugelform des Granulats soll es weniger zu Schäden im Bereich der Zähne und Weichgewebe kommen. FLASH pearl zeichnet sich durch seinen neutralen Geschmack aus¹⁶¹. Die Partikelgröße beträgt zwischen 30 µm und 45 µm¹⁶³.

Clinpro Prophy Powder besteht zu 99 % aus der Aminosäure Glycin. Glycin ist wasserlöslich und besitzt einen neutralen Geschmack¹³¹. Die maximale Partikelgröße beträgt 63 µm¹⁸⁰.

Bei prophylaxis powder handelt es sich um ein Reinigungspulver auf der Basis von Natriumbikarbonat und eignet sich nur zur supragingivalen Anwendung¹⁴³. Laut Herstellerangaben sind die Pulverpartikel kleiner als 150 µm¹⁴³. Der Zitronengeschmack basiert auf einem Aroma-Konzentrat mit Süßstoff-Anteil^{142, 143}. Ein weiterer Inhaltsstoff von prophylaxis powder ist Magnesiumstearat^{141, 142}.



Abb. 3 Die im Rahmen dieser Studie verwendeten Reinigungspulver: FLASH pearl, Clinpro Prophy Powder und prophylaxis powder

4.1.3 Bracketadhäsive

Es wurden 7 Bracketadhäsive hinsichtlich ihrer Fluoridfreisetzung untersucht (Tab. 1).

Tectosan ist laut Herstellerangaben ein fluoridfreies Bracketadhäsiv²². Es diente als Kontrollgruppe, um sicherzustellen, dass über den Messzeitraum hinweg kein Fluorid von extern in den Versuchsablauf gelangte.

Produkt	Hersteller	Aushärtungstyp	Chargennummer
Tectosan	BonaDent	lichthärtend	0167605
ConTec LC	Dentaurum	lichthärtend	64911
Beauty Ortho Bond	SHOFU	lichthärtend	050912
Transbond PLUS Color Change Adhesive	3M Unitek	lichthärtend	9CE
Light Bond	Reliance	lichthärtend	0906780
Phase II	Reliance	chemisch härtend	0903686 Part A 0903670 Part B
BonaBond plus LC	BonaDent	lichthärtend	635764

Tab. 1 Untersuchte Bracketadhäsive.

4.1.3.1 Tectosan

Es handelt sich um ein fluoridfreies lichthärtendes Adhäsiv bestehend aus Barium-Glas und pyrogener Kieselsäure (zusammen 76 Gew.-%), Dimethacrylat (22 Gew.-%) und Additive, Pigmente, Katalysatoren (zusammen 2 Gew.-%)²¹. Die durchschnittliche Füllkörpergröße des Barium-Glases ohne Berücksichtigung der eingesetzten pyrogenen Kieselsäure beträgt 5 µm²¹.

4.1.3.2 ConTec LC

ConTec LC ist nach Angaben des Herstellers^{43, 44} ein lichthärtendes Adhäsiv bestehend aus 18,6 Gew.-% Bis-GMA, 17,4 Gew.-% TEDMA, 36,0 Gew.-% Mikrosilikatfüller, 5,0 Gew.-% pyrogener Kieselsäure, 22,0 Gew.-% Vorpolymerisat und 1,0 Gew.-% Campherchinon/Butylhydroxytoluol. ConTec LC enthält zudem

Natriumfluorid. Der Hersteller gibt an, dass die Menge relativ gering (Promillebereich) ist. Eine genauere Angabe dazu kann der Hersteller nicht geben, da dies nicht zu den üblichen Prüf- oder Freigabekriterien gehört ⁴⁴. Die mittlere Teilchengröße der Füllstoffgläser beträgt $1\ \mu\text{m}$ ⁴⁵.

4.1.3.3 Beauty Ortho Bond

Beauty Ortho Bond ist laut Hersteller ²¹⁹ ein lichthärtender Fluorid freisetzender orthodontischer Kleber. Die Einzelbestandteile sind 10-20 Gew.-% Bis-GMA, 5-15 Gew.-% Triethylenglycol-dimethacrylat, 55-70 Gew.-% Aluminofluoroborosilikat Glas, 3-8 Gew.-% Al_2O_3 , Campherchinon. Die mittlere Partikelgröße der Füllstoffe beträgt $0,8\ \mu\text{m}$ ²²⁰.

4.1.3.4 Transbond PLUS Color Change Adhesive

Hierbei handelt es sich um ein lichthärtendes Bracketadhäsiv mit Fluoridabgabe. Zu den Inhaltsstoffen zählen <2 Gew.-% Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat, 35-45 Gew.-% 2-Propionsäure, 2-Methyl-, 3-(trimethoxysilyl) propylester, 35-45 Gew.-% silanisertes Glaspulver, 5-15 Gew.-% Polyethylenglycol-400-dimethacrylat, <2 Gew.-% Dimethylsiloxan, zusammen 1-10 Gew.-% Zitronensäuredimethacrylat und Oligomer ¹³³. Der Füllstoff ist eine Kombination aus silanisiertem Quarz- und Zirkonium-Glas mit einer Partikelgröße unter $80\ \mu\text{m}$ und einer kleinen Menge pyrogener Kieselsäure von unter $1\ \mu\text{m}$ Partikelgröße ¹³².

4.1.3.5 Light Bond

Bei Light Bond handelt es sich um ein lichthärtendes Fluorid freisetzendes Bracketadhäsiv. Es enthält 3-7 Gew.-% Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat, 66-99 Gew.-% kristallines Siliziumdioxid, 7-13 Gew.-% amorphes Silizium und <1 Gew.-% Natriumfluorid ²⁰¹. Die durchschnittliche Partikelgröße der Füllkörper beträgt $5\ \mu\text{m}$ ²⁰².

4.1.3.6 Phase II

Phase II ist ein chemisch härtendes Adhäsiv. Es handelt sich um ein Paste-Paste-System. Paste A enthält 5-10 Gew.-% Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat, 60-80 Gew.-% Glaspartikel sowie <1 Gew.-% Natriumfluorid. In Paste B sind 5-20 Gew.-% Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat, 60-80 Gew.-% kristallines Siliziumdioxid und 0-2 Gew.-% Benzoylperoxid enthalten²⁰³. Die durchschnittliche Größe der Füllstoffpartikel beträgt 5 μm ²⁰².

4.1.3.7 BonaBond plus LC

BonaBond plus LC ist ein lichthärtendes Fluorid freisetzendes Adhäsiv. Zu den Bestandteilen zählen 27 Gew.-% Bis-GMA, zusammen 70 Gew.-% Barium-Glas und Siliziumdioxid, 1,5 Gew.-% Polymethylmethacrylat, 0,5 Gew.-% Natriumfluorid sowie zusammen 1 Gew.-% Additive und Katalysatoren²⁰. Die Füllkörpergrößen liegen zwischen 0,2 μm und 1,7 μm , die mittlere Partikelgröße beträgt 1 μm ²¹.

4.2 Methoden

4.2.1 Herstellung und Lagerung der Prüfkörper

Pro Material wurden 130 Prüfkörper hergestellt. Dazu wurden Delrin-Ringe aus fluoridfreiem Kunststoff (1,5 mm hoch, 7 mm Innendurchmesser) verwendet. Auf der Innenseite der Kunststoffringe wurden mit einem feinen Rosenbohrer zwei kleine Retentionen angebracht, um ein Herausfallen der Proben zu verhindern. Zudem hatten die Ringe an der Außenseite eine Nut, auf die in Abbildung 6 näher eingegangen wird. Die Delrin-Ringe wurden mit Adhäsiv gefüllt (Abb. 4) und zwischen Polyethylenfolie (Kisol Folie) und Glasscheiben photopolymerisiert. Auf die obere Glasplatte wirkte eine Last von 5 N. Während des Befüllens wurden die Ringe mit einem Einmalspatel gegen die untere Polyethylenfolie fixiert. In Tab. 2 sind die genauen Verarbeitungszeiten und -schritte dargestellt. Die Photopolymerisation erfolgte von oben und unten in einem 90° Winkel durch die jeweilige Glasplatte (Abstand zum Prüfkörper 5 bis 6 mm).

Produkt	Verarbeitung	Anmischzeit	Polymerisationszeit
Tectosan	Applikation direkt aus Spritze in den Ring	-	L: 2 x 10 s/Ring
ConTec LC	Applikation direkt aus Spritze in den Ring	-	L: 2 x 20 s/Ring
Beauty Ortho Bond	Applikation direkt aus Spritze in den Ring	-	L: 2 x 10 s/Ring
Transbond PLUS *	Applikation direkt aus Spritze in den Ring	-	L: 2 x 5 s/Ring
Light Bond	Applikation direkt aus Spritze in den Ring	-	L: 2 x 10 s/Ring
Phase II	Anmischen von Paste A und B zu gleichen Teilen und Applikation mit Einmalspatel in den Ring	10 s	C: 10 min
BonaBond plus LC	Applikation direkt aus Spritze in den Ring	-	L: 2 x 10 s/Ring

Tab. 2 Verarbeitungszeiten und -schritte (L: Lichthärtung; C: chemische Härtung)

* Transbond PLUS Color Change Adhesive.

Die Polymerisation der lichthärtenden Adhäsive erfolgte mit einer bluephase 20i bei 1200 mW/cm². Die Polymerisationszeiten richteten sich nach den Herstellerangaben zur Polymerisation von Metallbrackets.

Zwischen dem Anmischbeginn und dem Startzeitpunkt für die erste Messung der Fluoridkonzentration lagen für den chemisch härtenden Kunststoff (Phase II) 13 Minuten: 10 Minuten dauerte die Härtung unter der Glasplatte, auf die eine Last von 5 N wirkte. Danach wurden vorhandene Pressfahnen entfernt und die Prüfkörper 13 Minuten nach Anmischbeginn in Polypropylen-Röhrchen mit 2,5 ml deionisiertem Wasser gegeben.

Die lichthärtenden Materialien wurden nach dem Aushärten mit einem Skalpell von Pressfahnen befreit und 10 Minuten nach Polymerisationsbeginn in Polypropylen-Röhrchen mit deionisiertem Wasser überführt.

Das deionisierte Wasser entstammte einer Vollentsalzungsanlage und war in qualitativer Hinsicht vergleichbar mit destilliertem Wasser. Die Pipettierung der 2,5 ml erfolgte mittels Transferpette. Die Probenröhrchen wurden aufrecht stehend in Reagenzglasständern gelagert und waren mit Stopfen verschlossen. Die Probenlagerung erfolgte für den gesamten Versuchszeitraum in einem Brutschrank bei 37 °C. Lediglich zum Messen, Abstrahlen und Erneuern des Lagerungsmediums wurden die Proben aus dem Brutschrank entnommen.

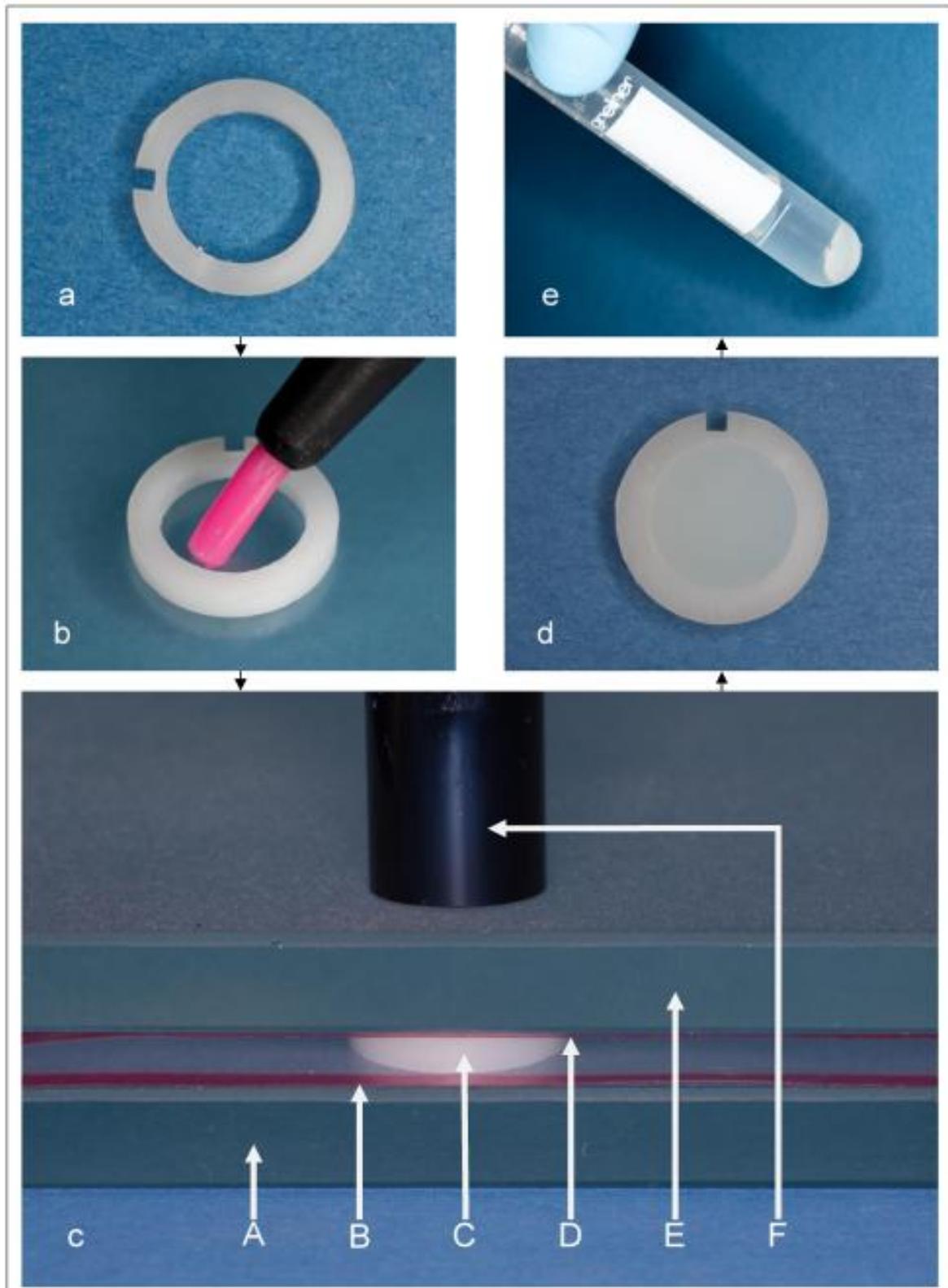


Abb. 4 Abfolge zur Herstellung und Lagerung der Prüfkörper.

a: Delrin-Ring, b: Befüllung mit Adhäsiv (Ring liegt auf der unteren Polyethylenfolie, Fixierung bei Befüllen mit Einmalspatel zur besseren Übersicht nicht dargestellt), c: Polymerisation mit bluephase 20i (A: untere Glasplatte (5-6 mm stark), B: untere Polyethylenfolie (rot markiert), C: Prüfkörper, D: obere Polyethylenfolie (rot markiert), E: obere Glasplatte mit 5 N belastet (5-6 mm stark), F: Lichtleiter), d: fertiger Prüfkörper, e: Prüfkörper-Lagerung in Polypropylen-Röhrchen mit deionisiertem Wasser

4.2.2 Messung der Fluoridfreisetzung

Das Messen der Fluoridionen-Konzentration erfolgte nach Entnahme der Prüfkörper aus den Polypropylen-Röhrchen mit der ionensensitiven Fluoridelektrode HI 4110 in wässriger Lösung. Die Elektrode wurde dazu an das mikroprozessorgesteuerte Hand-pH-Meter HI 9125 gekoppelt. Da es sich bei der Elektrode um eine Einstabmesskette handelt, bilden die ionensensitive Fluoridelektrode und die Referenzelektrode eine bauliche Einheit^{88, 255}.

Am unteren Ende des zylindrischen Elektrodenkörpers befindet sich eine Lanthan-Fluorid-Kristallmembran. Diese spielt eine wesentliche Rolle für den Messprozess. Die Referenzelektrode ist oberhalb der Lanthan-Fluorid-Kristallmembran im Elektrodenkörper integriert. Die Einfüllöffnung für die Referenzelektrolytlösung befindet sich im oberen Anteil der Elektrode⁸⁸.

Beim Eintauchen des Kristalls in eine wässrige Lösung stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Kristalloberfläche und der wässrigen Lösung ein, das durch die vorhandene Fluoridionen-Aktivität geprägt ist. Zur Einstellung dieses Gleichgewichts werden Fluoridionen an der Kristalloberfläche umgelagert.

Wird der Kristall mit einer fluoridionenhaltigen Lösung in Kontakt gebracht, so stellt sich durch eine Ladungsverschiebung im Gitter ein Elektrodenpotenzial an der Membran ein. Dies kann mit einem Ionenmeter gegen die konstante Referenzelektrode gemessen werden. Das gemessene Potenzial korreliert mit der Konzentration freier Fluoridionen in der Lösung⁸⁸.

Um eine Komplexbildung von Fluoridionen mit Aluminiumionen oder Eisenionen zu vermeiden oder bestehende Komplexe aufzuspalten, wurden jeder Probenlösung vor der Messung eine „Hintergrund-Lösung“ zugesetzt. Man bezeichnet diese als TISAB Lösung (Total Ionic Strength Adjusting Buffer). Für die Messungen wurde TISAB II jeder Probenlösung im Verhältnis 1:1 zum Probenvolumen zugegeben.

Grundlage für die Bestimmung der Fluoridkonzentration ist die NERNSTsche-Gleichung:

$$E = E_0 - S \log A$$

E	gemessenes Elektrodenpotenzial
E ₀	Referenzpotenzial (Konstante)
S	Steilheit der Elektrode
A	Aktivität der freien Elektronen

Die Aktivität wird über den dimensionslosen Faktor γ als Aktivitätskoeffizient charakterisiert. Dieser ist nur bei gleichmäßiger Hintergrund-Ionenstärke konstant und proportional zur Fluoridkonzentration.

$$A = \gamma c_F \quad c_F \quad \text{freie Fluoridionen-Konzentration}$$

Die Aktivität gelöster Ionen steht im Zusammenhang mit der Ionenstärke. Diese wird folgendermaßen definiert:

$$\text{Ionenstärke} = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2 \quad c_i \quad \text{Konzentration des Ions}$$
$$z_i \quad \text{Ladung des Ions}$$

Bevor die Fluoridionen-Konzentration in einer Probenlösung bestimmt wurde, hat eine Kalibrierung mit mindestens drei Kalibrierlösungen stattgefunden. Die Kalibrierlösungen wurden stets am Tag der Messung aus Standardlösungen mit bekannter Konzentration frisch hergestellt. Mit den aus der Kalibrierung erhaltenen Werten erfolgte eine Linearisierung. Über diese lineare Funktion konnte dem gemessenen Potenzial eine Konzentration in parts per million (ppm) zugeordnet werden. Bei der Kalibrierung wurde eine möglichst genaue Eingrenzung der Messbereiche angestrebt. Nachdem 10 Konzentrationen bestimmt waren, wurde eine erneute Kalibrierung mit Standardlösungen vorgenommen, um den Messfehler minimal zu halten.

Zwischen den Messungen der einzelnen Proben wurde die Elektrode gründlich mit deionisiertem Wasser gespült und mögliche Resttropfen mit Filterpapier abgenommen.

Um nachweisen zu können, dass keine Fluoridionen während des gesamten Versuchsablaufes in den Messzyklus gelangten, wurde eine fluoridfreie Kontrollgruppe für alle Bearbeitungsvarianten mitgeführt.

4.2.3 Versuchsdurchführung und Versuchsablauf

4.2.3.1 Referenzmessung

Von allen untersuchten Materialien (Kapitel 4.2.1) wurden jeweils 10 Prüfkörper hergestellt, die nicht bestrahlt wurden. Nach 4, 8, 12 und 16 Wochen wurden die Prüfkörper in neue Polypropylen-Röhrchen mit frischem deionisiertem Wasser gegeben. Anschließend erfolgte die Fluoridbestimmung in der Lösung, in der zuvor die Proben über 4 Wochen hinweg aufbewahrt worden waren. Die letzte Fluoridbestimmung wurde nach der 20. Woche vorgenommen.

4.2.3.2 Pulver-Wasser-Strahlgerät-bestrahlte Proben

Ziel war es, verschiedene Bracketadhäsive mit unterschiedlichen Pulver-Wasser-Strahlgeräten und Pulvern bei maximaler Wasserzufuhr oder ohne Wasserzufuhr zu behandeln. Für den Versuchsablauf standen für die Bestrahlung der Prüfkörper zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräte zur Verfügung, die in zwei Einstellungen angewendet wurden. Diese wurden mit drei verschiedenen Pulvern kombiniert: FLASH pearl; prophylaxis powder; Clinpro Prophy Powder (Kapitel 4.1.2).

Bei den Pulver-Wasser-Strahlgeräten (PWS) handelte es sich um das Prophy-Mate neo und das easyjet pro (Kapitel 4.1.1). Es wurde nur die zugeführte Wassermenge reguliert. Die Pulver-Luft-Menge blieb bei maximalem Luftdruck der Behandlungseinheit unverändert. Einstellungsvariante A arbeitete mit maximaler Wasserbeimischung und Einstellungsvariante B ohne Wasserzufuhr.

Von jedem der 7 Kunststoffe wurden 120 Prüfkörper hergestellt. Je 10 dieser Prüfkörper wurden mit dergleichen Kombination aus PWS, Pulver und PWS-Einstellung bestrahlt (Abb. 5).

Nach Herstellung der Prüfkörper wurden diese in Polypropylen-Röhrchen mit je 2,5 ml deionisiertem Wasser gegeben. Die anschließende Lagerung erfolgte in einem Brutschrank bei 37 °C. In Abständen von 28 Tagen \pm 4 Stunden wurden die Prüfkörper den Polypropylen-Röhrchen entnommen und unmittelbar danach jeweils 10 mit dergleichen Kombination von PWS, Pulver und PWS-Einstellung bestrahlt.

Im Anschluss daran wurden die Prüfkörper von Pulverrückständen gereinigt (s. u.) und in ein neues Polypropylen-Röhrchen mit 2,5 ml deionisiertem Wasser gegeben. Die anschließende Lagerung erfolgte erneut im Brutschrank bei 37 °C. Nachdem die Prüfkörper transferiert worden waren, erfolgte die Messung der über die letzten vier Wochen freigesetzten Fluoridionen durch Bestimmung der Fluoridionenkonzentration mittels Fluoridelektrode.

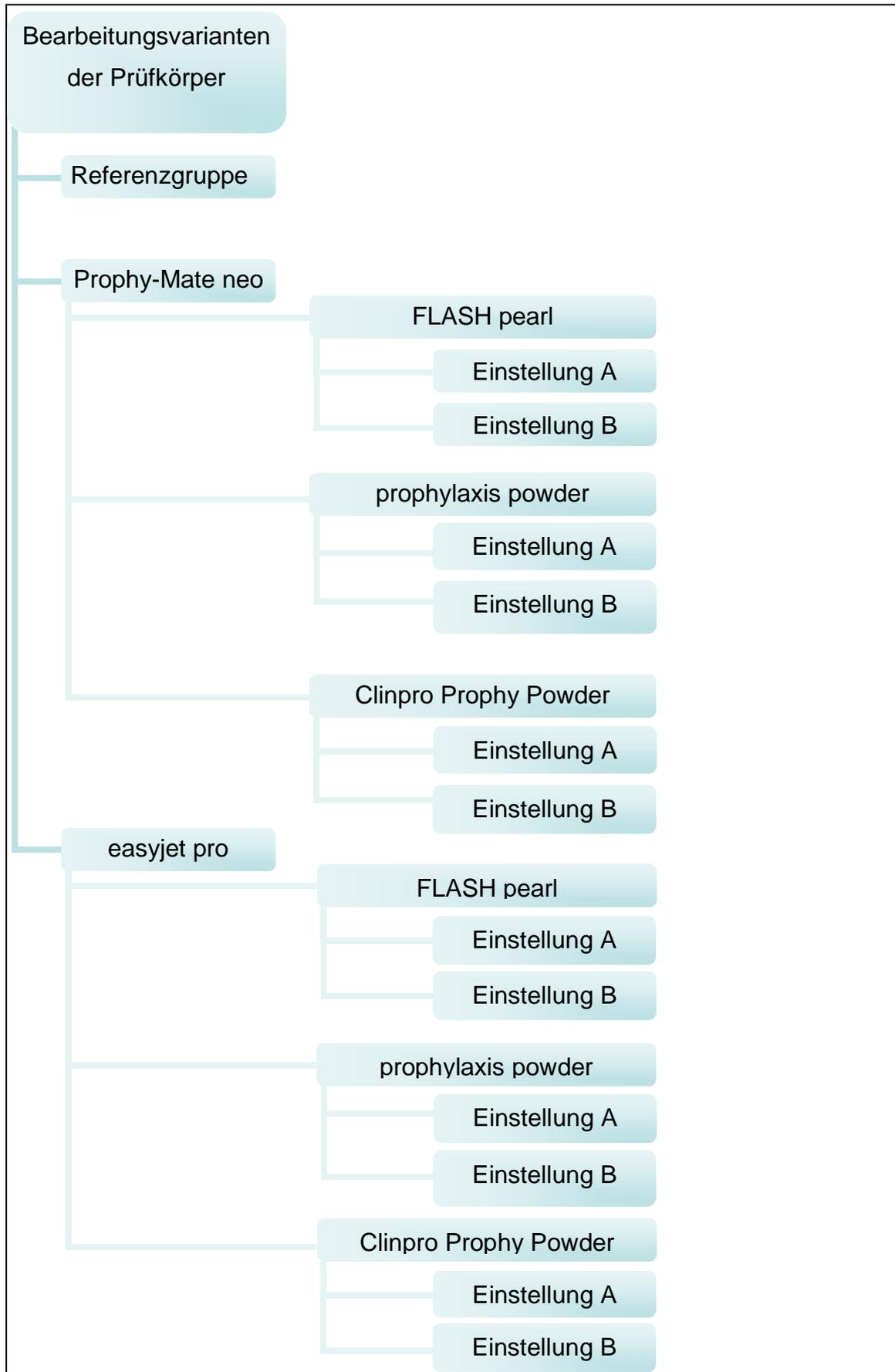


Abb. 5 Bearbeitungsvarianten der Prüfkörper jedes der untersuchten 7 Composite. Zahl der Prüfkörper pro Gruppe: $n = 10$. Einstellung A = maximale Wasserbeimischung, Einstellung B = ohne Wasserzufuhr.

Ablauf der Prüfkörper-Abstrahlung:

Die Prüfkörper wurden mit einem Einmalspatel aus ihren Polypropylen-Röhrchen entnommen und auf Filterpapier gelegt. Danach wurden die Prüfkörper in eine Aluminiumhalterung eingesetzt, die eine Prüfkörperhälfte freiließe. Über eine Nut im Delrin-Ring konnte stets die gleiche Position des Ringes in der Aluminiumhalterung eingestellt werden (Abb. 6).

Jede freiliegende Prüfkörperhälfte wurde zwei Sekunden pro Seite abgestrahlt. Dieser Zeitvorgabe liegen folgende Überlegungen zu Grunde:

Die Innenfläche eines Delrin-Ringes beträgt bei einem Innendurchmesser von 7 Millimetern $38,48 \text{ mm}^2$ ($\pi \times (3,5 \text{ mm})^2 = 38,48 \text{ mm}^2$). Dies entspricht etwa 1/32 der gesamten bukkalen Zahnkronenfläche ($1233,26 \text{ mm}^2 / 38,48 \text{ mm}^2 = 32,05$)^{60, 158}.

Unter der Annahme, dass eine professionelle Zahnreinigung bei PWS-Anwendung drei Minuten dauert und die bukkalen Bereiche dabei zwei Minuten in Anspruch nehmen, entfallen auf die Bearbeitung der Prüfkörper 3,74 Sekunden ($120 \text{ s} / 32,05 = 3,74 \text{ s}$)¹¹⁰.

Pro halber Probenseite beträgt die Bearbeitungszeit demnach 1,87 Sekunden. Aus Praktikabilitätsgründen wurde die Bearbeitungsdauer auf zwei Sekunden gerundet.

Während des Abstrahlens unter zügigen linearen Bewegungen betrug der Abstand zwischen drei und fünf Millimetern. Es wurde ein Bestrahlungswinkel zur Prüfkörperoberfläche zwischen 30° und 60° eingehalten.

Nach dem Abstrahlen wurden die Prüfkörper zunächst für 20 Sekunden mit Leitungswasser und im Anschluss daran für 5 Sekunden mit deionisiertem Wasser gereinigt, durch Filterpapier oberflächliches Wasser aufgenommen und die Prüfkörper dann in ein neues Polypropylen-Röhrchen mit 2,5 ml deionisiertem Wasser transferiert.

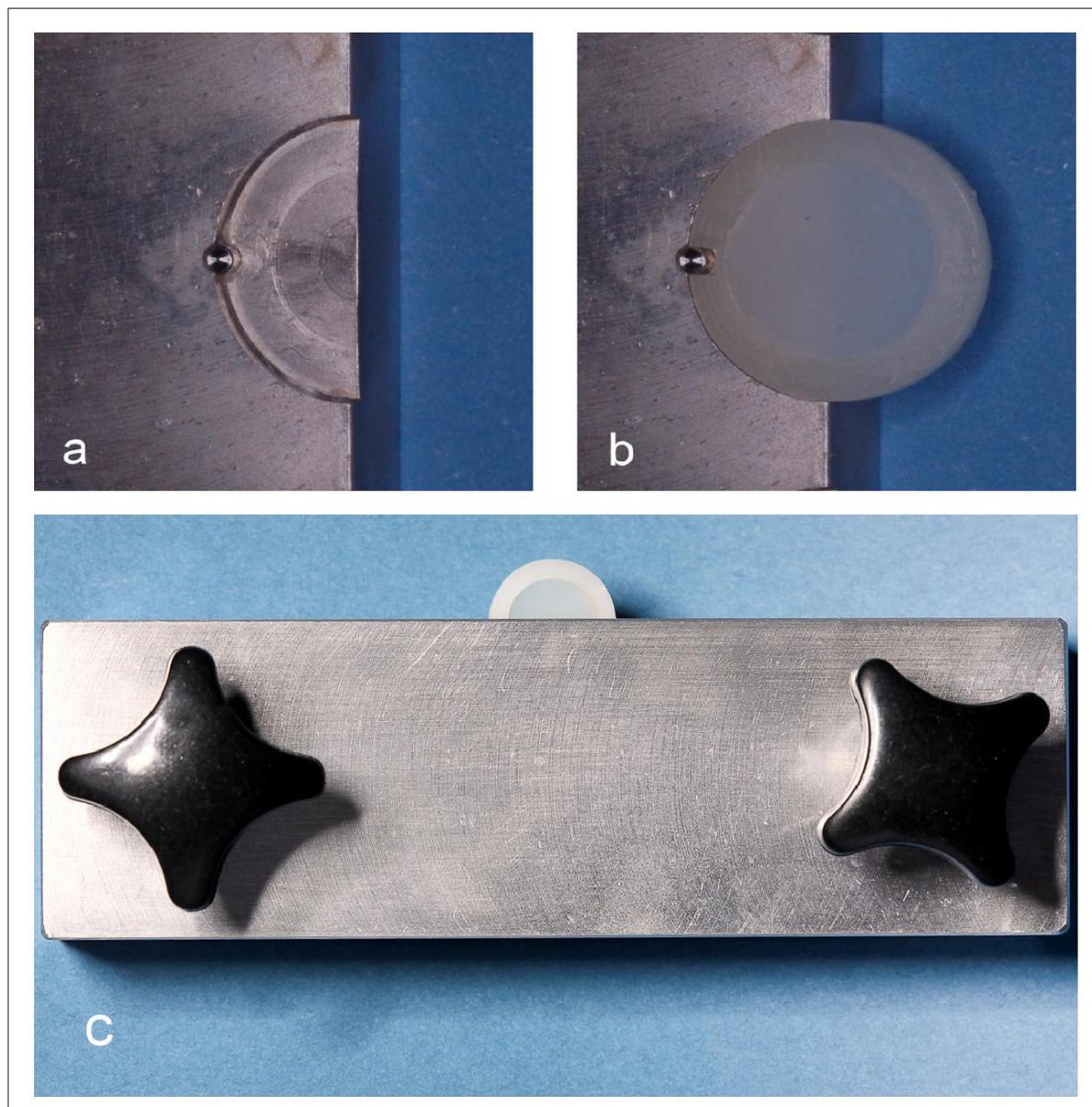


Abb. 6 Aluminiumhalterung und Delrin-Ring mit Nut zur Sicherung der Position.
a: Geöffnete Aluminiumhalterung mit Stift zur Aufnahme der Nut mit Delrin-Ring.
b: Geöffnete Aluminiumhalterung mit eingesetztem Delrin-Ring.
c: Geschlossene Aluminiumhalterung mit Delrin-Ring.

4.3 Statistische Auswertung und grafische Darstellung

Die statistische Auswertung und grafische Darstellung der Messergebnisse erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows 19.0.

Der Test nach Kolmogorov-Smirnov wurde eingesetzt, um die Daten auf Normalverteilung zu prüfen. Der Levene-Test diente der Überprüfung auf Varianzhomogenität. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

Die Untersuchung sollte Unterschiede in der Fluoridfreisetzung in Abhängigkeit von der Oberflächenbearbeitung und dem untersuchten Adhäsiv aufzeigen.

Für die statistische Auswertung der Messergebnisse des letzten Messintervalls (Kapitel 5.2) wurde die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) gewählt. Mit der einfaktoriellen ANOVA wurden signifikante Unterschiede der Fluoridfreisetzungen innerhalb eines Materials in Abhängigkeit von der Oberflächenbearbeitung (verschiedene Reinigungspulver in Kombination mit unterschiedlichen Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei wechselnder Geräteeinstellung) ausgewertet. Anschließend zeigte der Post-hoc-Test Tamhane- T_2 , ob die Nullhypothese, dass zwischen den Gruppen keine Unterschiede bestanden, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $< 5\%$ verworfen werden musste.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe von Balkendiagrammen mit Standardabweichungen. Zusätzlich wurden die Resultate der vergleichenden Statistik in Signifikanztabellen zusammengefasst.

Die 20-Wochen-Messwerte wurden mit gängigen Verfahren der deskriptiven Statistik zusammengefasst, indem Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet wurden.

5 ERGEBNISSE

5.1 Fluoridfreisetzung

Abbildung 7 zeigt die Fluoridkonzentration in den Eluaten der unbestrahlten Referenzgruppen bis zur 20. Woche. Alle anderen Prüfkörper wurden gemäß Abbildung 5 mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät (PWS) bestrahlt. Die PWS-Behandlung erfolgte erstmals nach 4 Wochen. Einen Einfluss auf die Fluoridfreisetzung ist ab dem 2. Messintervall (nach 8 Wochen [= Fluoridkonzentration der Eluate, in denen die Prüfkörper von der 5. bis zur 8. Woche lagerten]) gegeben.

Die Abbildungen 8 bis 13 zeigen grafisch die gemessenen Fluoridfreisetzungen der untersuchten Bracketadhäsive nach unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung für den gesamten Versuchszeitraum. Die Skalierungen der Y-Achsen in den Abbildungen 7 bis 13 orientieren sich an den jeweiligen Werten und sind daher unterschiedlich. Die Tabellen 9 bis 14 (im Anhang Kapitel 9.2) enthalten die dazugehörigen numerischen Daten der untersuchten Materialien für die Gesamtversuchsdauer.

5.1.1 Fluoridfreisetzung unbestrahlter Referenzgruppen

- Die Fluoridfreisetzung von Transbond PLUS Color Change Adhesive war verglichen mit den übrigen Adhäsiven über den gesamten Messzeitraum am höchsten, gefolgt von Beauty Ortho Bond (Abb. 7). Diese beiden Adhäsive zeigten trotz der über die Zeit tendenziell abnehmenden Freisetzungen deutlich höhere Fluoridkonzentrationen als die übrigen Adhäsive (Abb. 7).
- Beauty Ortho Bond und Phase II zeigten nach 4 Wochen ähnliche Fluoridfreisetzungen von 2,35 ppm und 2,51 ppm (Abb. 7, 9 und 12), wobei in den folgenden Messintervallen die Fluoridfreisetzung von Phase II sehr stark absank (0,18 ppm, 0,11 ppm, 0,06 ppm, 0,04 ppm) und sich in einem mit Light Bond vergleichbaren Bereich (0,29 ppm, 0,21 ppm, 0,14 ppm, 0,09 ppm) befand (Abb. 11 und 12).
- Light Bond zeigte mit einem starken Abfall der Fluoridfreisetzung zum

-
2. Messintervall (5. - 8. Woche) von 1,73 ppm auf 0,29 ppm einen ähnlichen Freisetzungsverlauf wie Phase II von 2,51 ppm auf 0,18 ppm (Abb. 11 und 12).
- BonaBond plus LC und ConTec LC zeigten über die Versuchszeit die geringsten Fluoridfreisetzungen (Abb. 8 und 13).
 - Bei BonaBond plus LC fiel die Fluoridfreisetzung zum 2. Messintervall (5. - 8. Woche) von 0,21 ppm auf 0,09 ppm ab und bildete bis zum 4. Messintervall (13. - 16. Woche) ein Plateau bei 0,071 ppm, um zum 5. Messintervall (17. - 20. Woche) stark auf 0,013 ppm abzufallen (Abb. 13).
 - ConTec LC zeigte über die Versuchszeit einen kontinuierlichen Abfall der Fluoridfreisetzung (0,035 ppm, 0,03 ppm, 0,02 ppm, 0,014 ppm) bis zum 4. Messintervall (13. - 16. Woche) und blieb danach auf einem konstanten Niveau von 0,014 ppm (Abb. 8).
 - Bei 83,3 % der durchschnittlichen Fluoridkonzentrationen (25 Konzentrationen) lagen die Messwerte im Bereich Mittelwert ± 2 Standardabweichungen. Für die übrigen 16,7 % der mittleren Fluoridkonzentrationen (5 Konzentrationen) lagen die Messwerte im Bereich Mittelwert ± 3 Standardabweichungen (Tab. 9 bis 14 im Anhang, Kapitel 9.2).

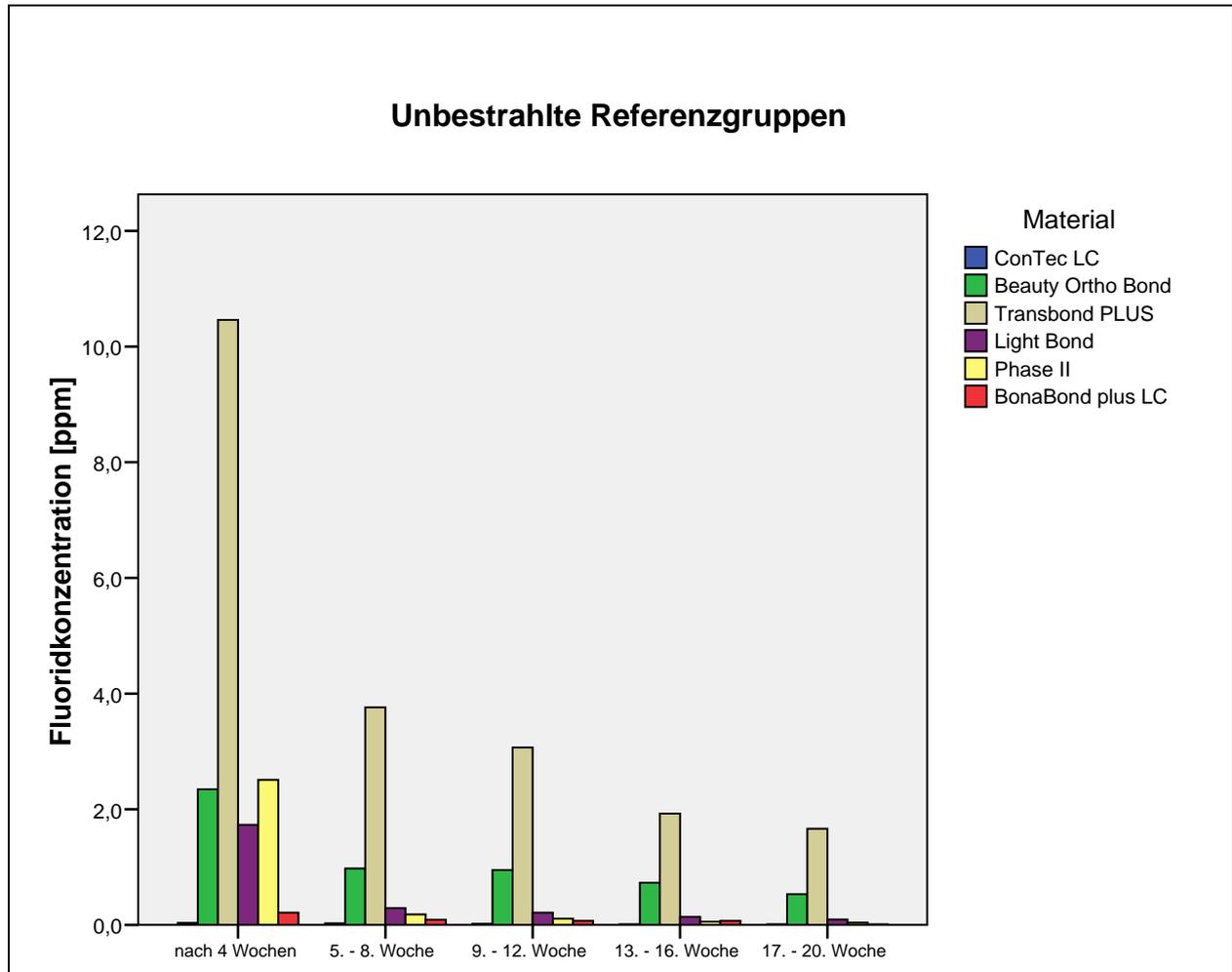


Abb. 7 Fluoridkonzentration der unbestrahlten Referenzgruppen in den ersten 20 Wochen. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach vier Wochen Lagerung in demineralisiertem Wasser.

5.1.2 Fluoridfreisetzung bestrahlter Proben

- ConTec LC zeigte nach der Oberflächenbearbeitung einen deutlichen, signifikanten Anstieg der Fluoridfreisetzung (Abb. 8). Die Fluoridfreisetzung konnte um den Faktor 4 (5. - 8. Woche) von 0,03 ppm auf 0,118 ppm und Faktor 6 (13. - 16. Woche, 17.- 20. Woche) von 0,014 ppm auf 0,087 ppm und von 0,014 ppm auf 0,084 ppm gesteigert werden (Abb. 8).
- Bei Beauty Ortho Bond war nach der Bestrahlung über die gesamte Versuchszeit ein Anstieg der Fluoridfreisetzung festzustellen (Abb. 9). Die Fluoridfreisetzung konnte um den Faktor 2,3 (5. - 8. Woche) von 0,98 ppm auf 2,23 ppm und um den Faktor 2,4 (17. - 20. Woche) von 0,53 ppm auf 1,27 ppm erhöht werden (Abb. 9).

-
- Auf Transbond PLUS Color Change Adhesive wirkte sich die Oberflächenbearbeitung sehr unterschiedlich aus. Nach Bestrahlung konnte im 2. Messintervall (5. - 8. Woche) eine Steigerung der Fluoridfreisetzung um den Faktor 1,5 (von 3,76 ppm auf 5,52 ppm) erreicht werden (Abb. 10). Im 3. Messintervall (9. - 12. Woche) und zum Teil auch in den übrigen Messintervallen lag die Fluoridfreisetzung nach Bestrahlung unter der Freisetzung der unbestrahlten Referenzgruppen (Abb. 10). Transbond PLUS Color Change Adhesive zeigte über den untersuchten Zeitraum die höchsten Fluoridfreisetzungen (Abb. 8 bis 13).
 - Light Bond zeigte nach der PWS-Anwendung Steigerungen der Fluoridfreisetzung etwa um den Faktor 2 (3. Messintervall, von 0,21 ppm auf 0,4 ppm) bis Faktor 3 (4. Messintervall, von 0,14 ppm auf 0,44 ppm) (Abb. 11). Im letzten Messintervall konnte eine Steigerung der Fluoridfreisetzung um den Faktor 4,3 (von 0,09 ppm auf 0,39 ppm) erreicht werden (Abb. 11). Im 2. und 3. Messintervall waren nach der PWS-Behandlung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe auch geringere Fluoridfreisetzungen zu verzeichnen (Abb. 11).
 - Phase II zeigte im letzten Messintervall die stärkste relative Erhöhung der Fluoridfreisetzung um den Faktor 10 von 0,04 ppm auf 0,41 ppm (Abb. 12). In den übrigen Intervallen konnten Steigerungen um den Faktor 2 (2. Messintervall, von 0,18 ppm auf 0,36 ppm) bis Faktor 4,5 (4. Messintervall, von 0,06 ppm auf 0,27 ppm) erreicht werden (Abb. 12).
 - Für BonaBond plus LC konnten im letzten Messintervall Steigerungen der Fluoridfreisetzung um bis zu Faktor 7 (von 0,013 ppm auf 0,091 ppm) ermittelt werden (Abb. 13). In den übrigen Intervallen zeigten sich maximale Steigerungen um den Faktor 2 (2. Messintervall, von 0,09 ppm auf 0,18 ppm oder 4. Messintervall, von 0,071 ppm auf 0,146 ppm) bis Faktor 3 (3. Messintervall, von 0,071 ppm auf 0,203 ppm) (Abb. 13).
Jedoch konnten im 3. und 4. Messintervall nach Bestrahlung auch geringere Freisetzungen gemessen werden als in den unbestrahlten Referenzgruppen (Abb. 13).
 - Für BonaBond plus LC und ConTec LC wurden über die Zeit die geringsten Fluoridfreisetzungen festgestellt (Abb. 8 bis 13).

- Mehrheitlich zeigte sich für die untersuchten Fluorid freisetzenden Adhäsive, dass auch nach der Oberflächenbearbeitung über den Messzeitraum eine Abnahme der freigesetzten Fluoridmengen mit der Annäherung an einen Minimalwert zu verzeichnen war (Abb. 8 bis 13). Der Abfall der Fluoridfreisetzung über die Zeit konnte in einigen Fällen durch die Oberflächenbearbeitung abgemildert werden oder sogar die Freisetzung wieder gesteigert werden (Abb. 8 bis 13).
- Bei 89,4 % der mittleren Fluoridkonzentrationen lagen die Messwerte im Bereich Mittelwert \pm 2 Standardabweichungen. Bei den übrigen 10,6 % der durchschnittlichen Fluoridkonzentrationen lagen die Messwerte im Bereich Mittelwert \pm 3 Standardabweichungen (Tab. 9 bis 14 im Anhang, Kapitel 9.2).

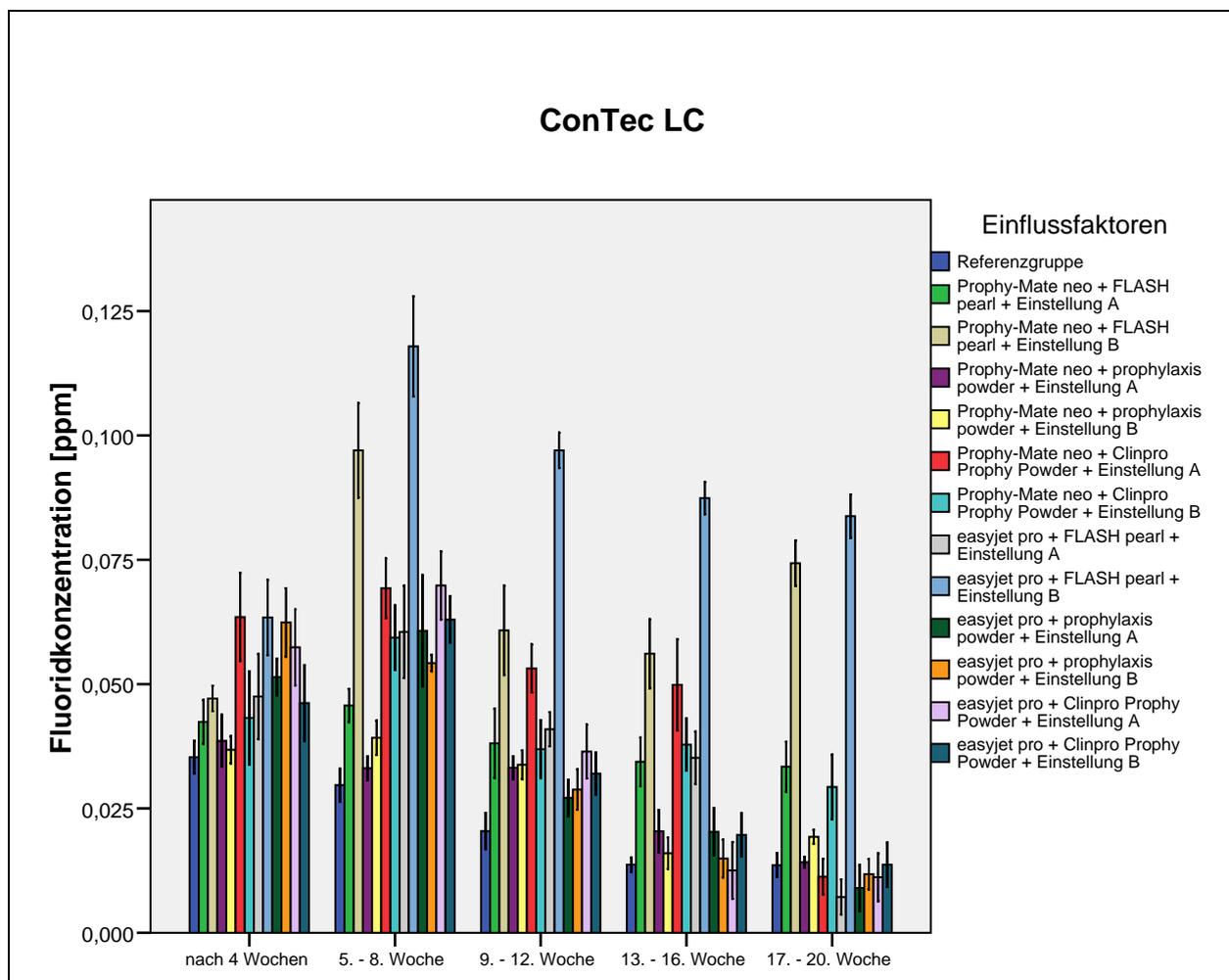


Abb. 8 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von ConTec LC in den ersten 20 Wochen; **Einflussfaktoren der PWS-Behandlung: Pulver-Wasser-Strahlgerät, Reinigungspulver, Einstellung A/B;** Einstellung A: maximale Wasserbeimischung; Einstellung B: ohne Wasserzufuhr.

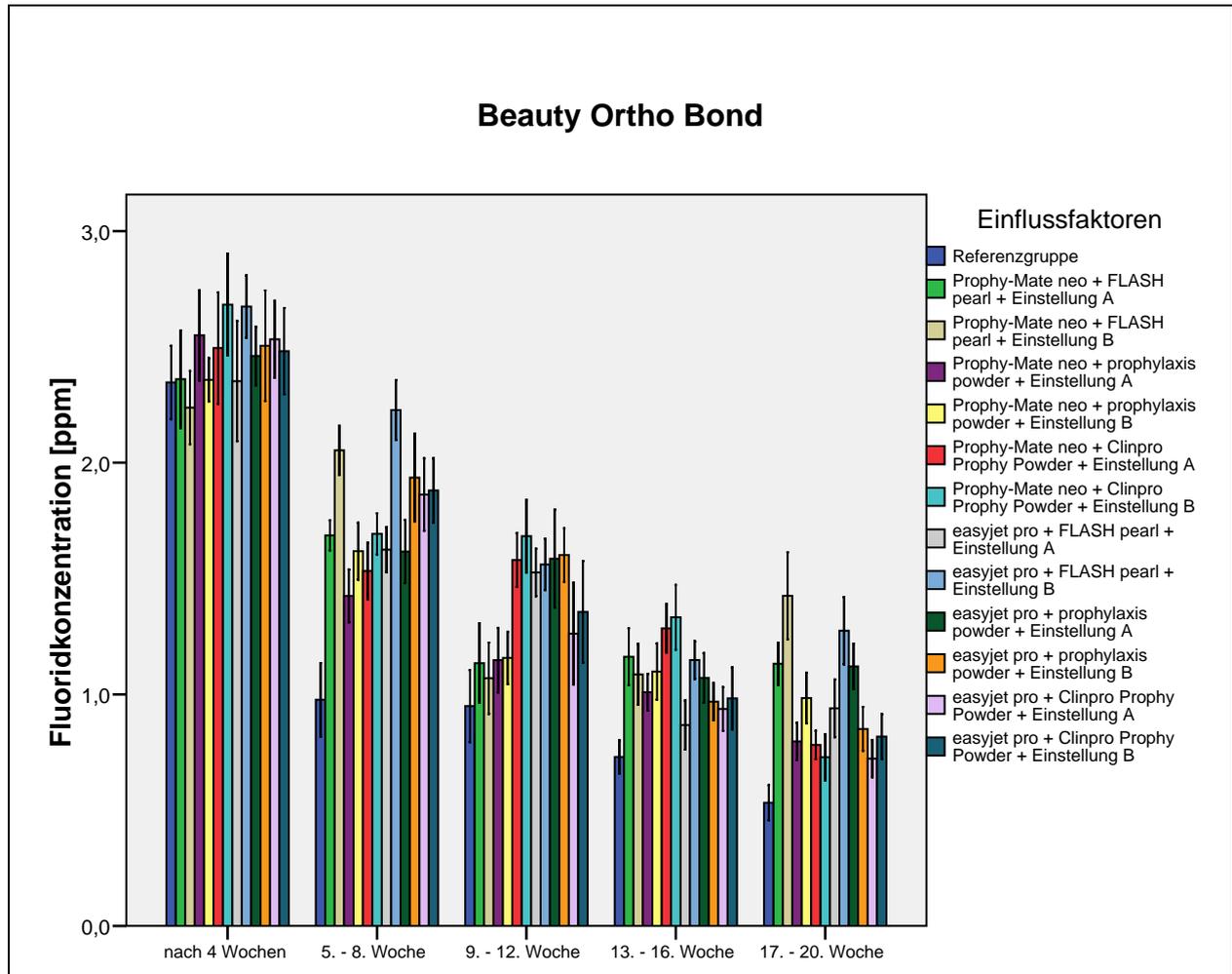


Abb. 9 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Beauty Ortho Bond in den ersten 20 Wochen; **Einflussfaktoren der PWS-Behandlung:** **Pulver-Wasser-Strahlgerät, Reinigungspulver, Einstellung A/B;** Einstellung A: maximale Wasserbeimischung; Einstellung B: ohne Wasserzufuhr.

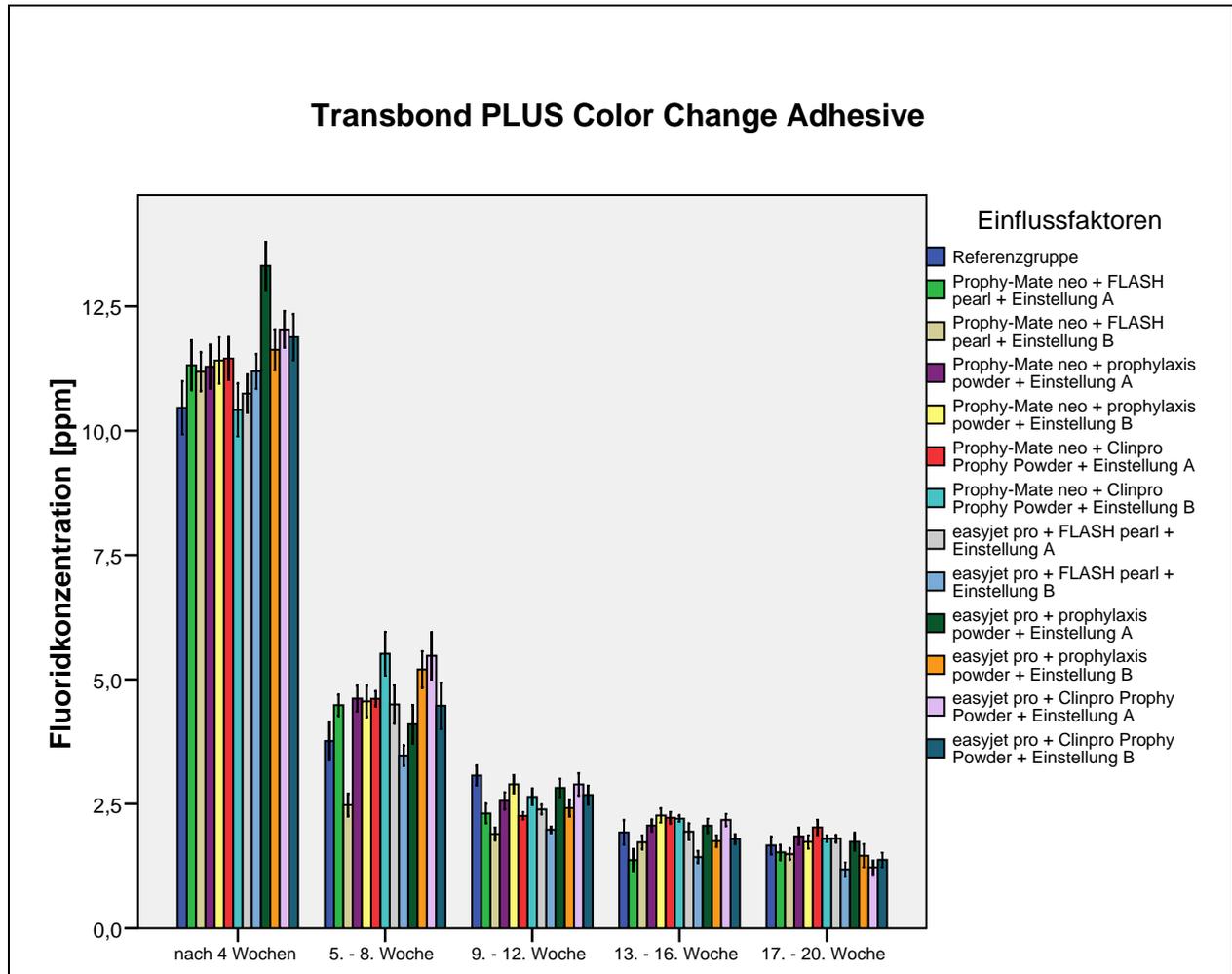


Abb. 10 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Transbond PLUS Color Change Adhesive in den ersten 20 Wochen; **Einflussfaktoren der PWS-Behandlung: Pulver-Wasser-Strahlgerät, Reinigungspulver, Einstellung A/B;** Einstellung A: maximale Wasserbeimischung; Einstellung B: ohne Wasserzufuhr.

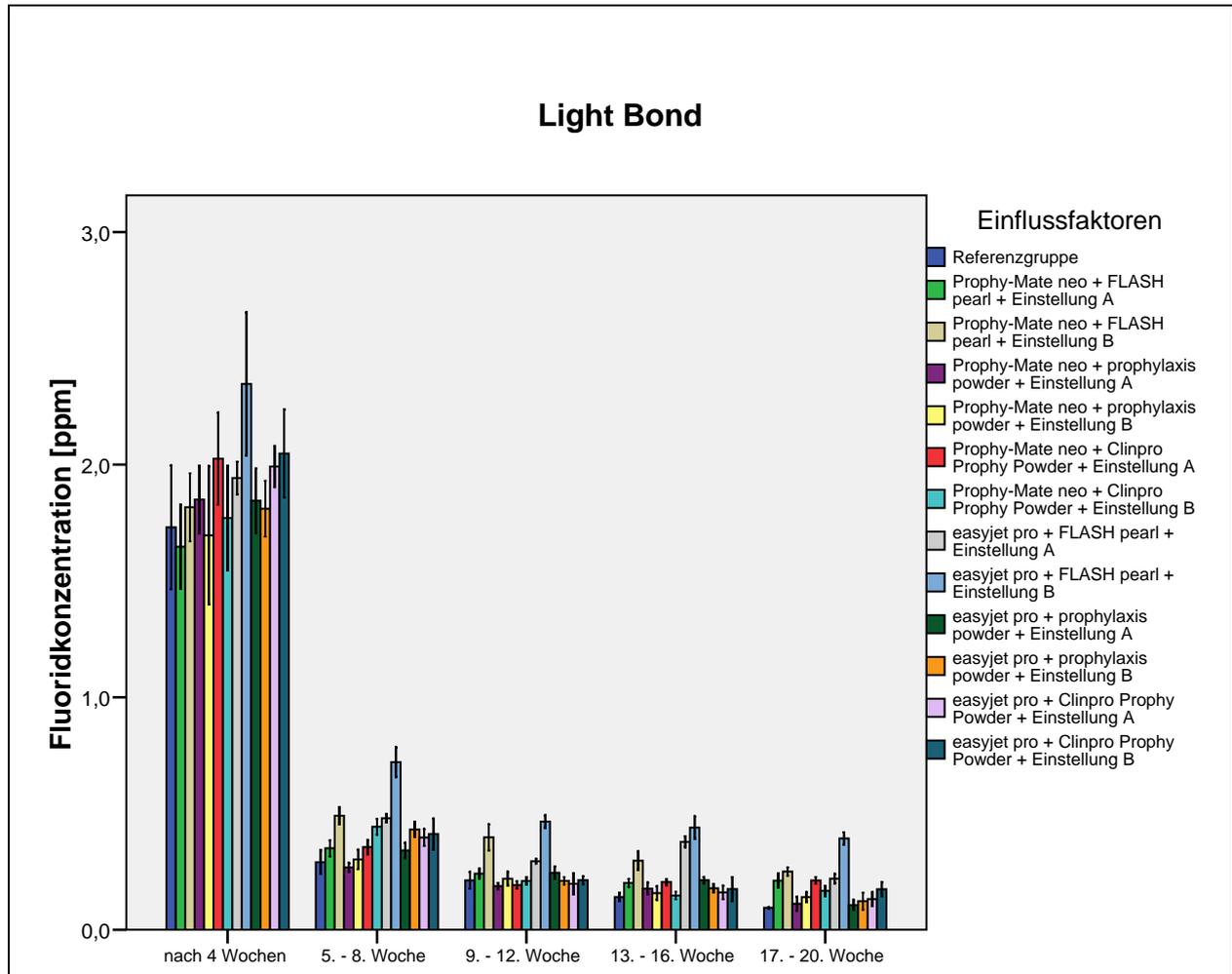


Abb. 11 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Light Bond in den ersten 20 Wochen;
Einflussfaktoren der PWS-Behandlung:
Pulver-Wasser-Strahlgerät, Reinigungspulver, Einstellung A/B;
 Einstellung A: maximale Wasserbeimischung; Einstellung B: ohne Wasserzufuhr.

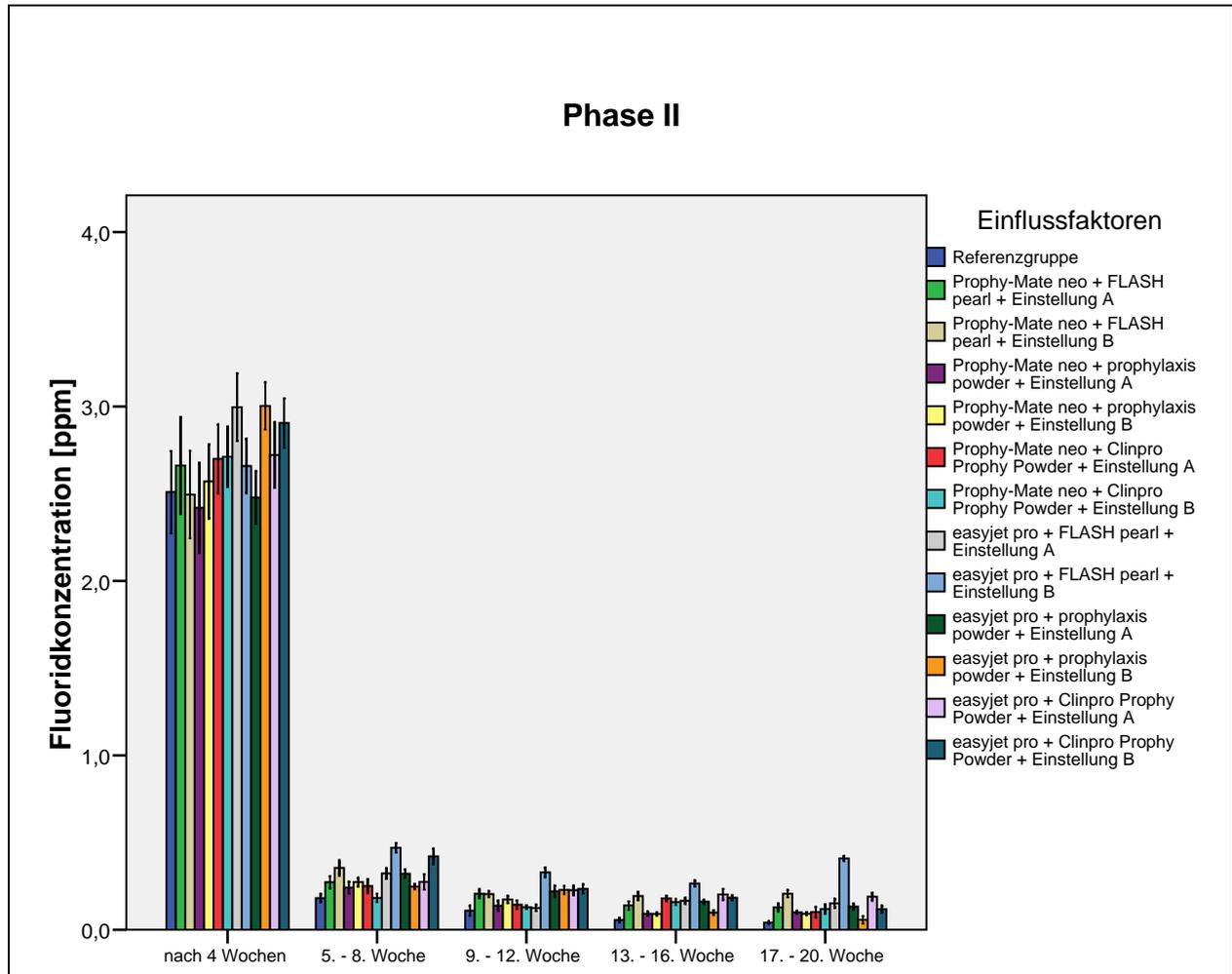


Abb. 12 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Phase II in den ersten 20 Wochen;
Einflussfaktoren der PWS-Behandlung:
Pulver-Wasser-Strahlgerät, Reinigungspulver, Einstellung A/B;
 Einstellung A: maximale Wasserbeimischung; Einstellung B: ohne Wasserzufuhr.

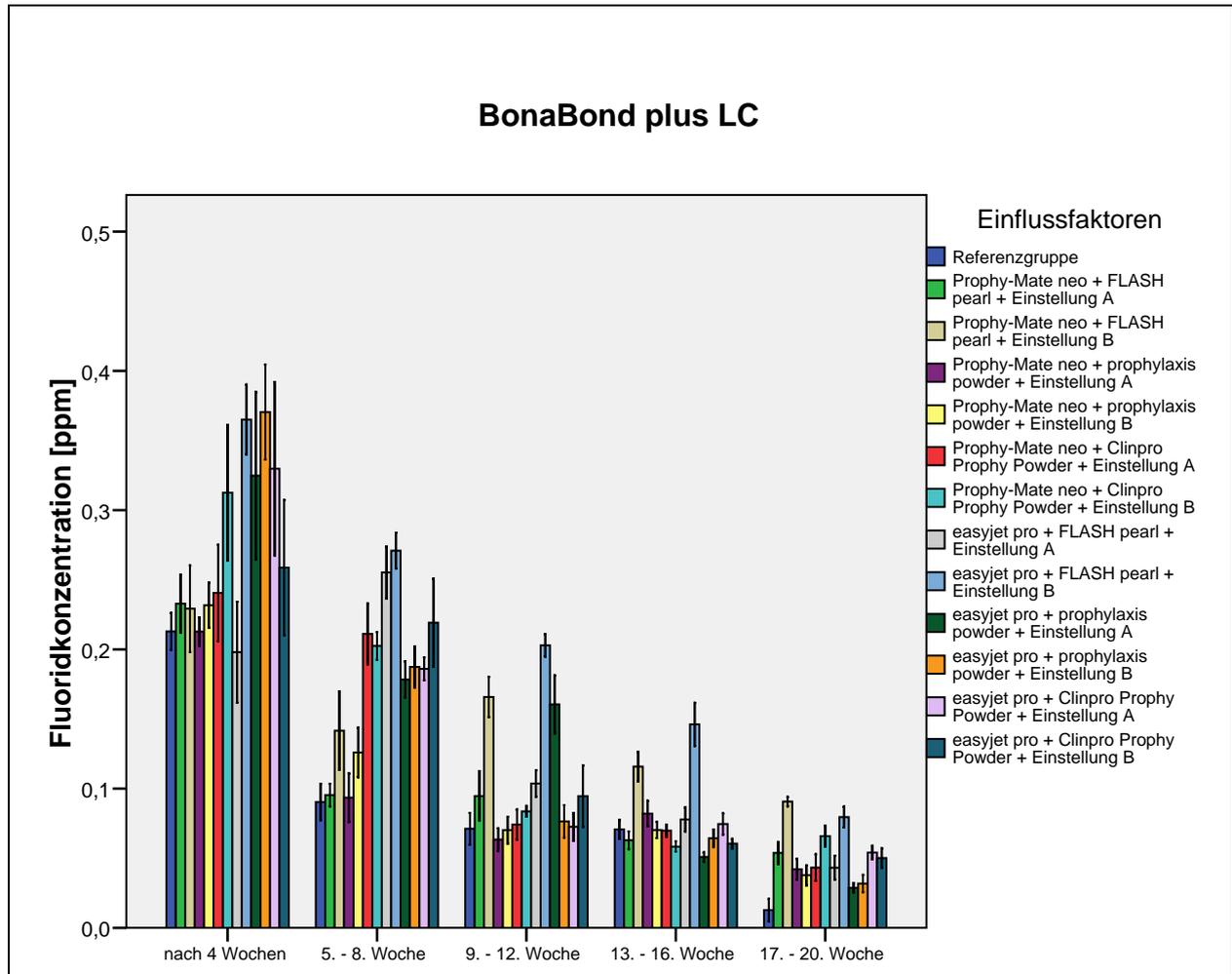


Abb. 13 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von BonaBond plus LC in den ersten 20 Wochen; **Einflussfaktoren der PWS-Behandlung:**
Pulver-Wasser-Strahlgerät, Reinigungspulver, Einstellung A/B;
 Einstellung A: maximale Wasserbeimischung; Einstellung B: ohne Wasserzufuhr.

5.2 Signifikanzanalyse der Fluoridfreisetzung in der 17. bis 20. Woche

In den Abbildungen 14 bis 19 sind die Fluoridkonzentrationen in den Eluaten der jeweiligen Materialien für die untersuchten Bearbeitungsvarianten nach der 17. bis 20. Woche dargestellt. Außerdem sind signifikante Steigerungen/Verringerungen der Fluoridfreisetzung bezogen auf die Referenzgruppe gekennzeichnet.

Signifikante Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten innerhalb der jeweiligen Materialien sind in den Signifikanztabellen 3 bis 8 zusammengefasst. Die Erklärungen zu den verschiedenen Bearbeitungsvarianten sind den Legenden der Abbildungen 14 bis 19 zu entnehmen. Die Skalierungen der Y-Achsen in den Abbildungen 14 bis 19 richten sich nach den jeweiligen Werten und sind daher unterschiedlich.

Die statistische Auswertung ergab Folgendes:

- Die größte Fluoridkonzentration wurde für Transbond PLUS Color Change Adhesive mit 2,03 ppm (Variante 5) gemessen (Abb. 16, Tab. 11 Anhang).
- Die niedrigste Fluoridkonzentration wurde für ConTec LC mit 0,007 ppm (Variante 7) gemessen (Abb. 14, Tab. 9 Anhang).

Die Signifikanzanalyse der oberflächenbearbeiteten Varianten bezogen auf die Referenzgruppe ergab Folgendes:

- Für Beauty Ortho Bond (Abb. 15), BonaBond plus LC (Abb. 19) und Phase II (Abb. 18, außer Variante 10) hatten alle 12 Bearbeitungsvarianten eine signifikante Steigerung der Fluoridfreisetzung bezogen auf die Referenzgruppe zur Folge.
- Auf Transbond PLUS Color Change Adhesive hatte nur Bearbeitungsvariante 5 eine signifikante Steigerung der Fluoridfreisetzung gegenüber der Referenzgruppe zur Folge (Abb. 16).

Die Signifikanzanalyse zwischen den verschiedenen Bearbeitungsvarianten zeigte folgende Ergebnisse:

- ConTec LC wies in den Varianten 2 und 8 signifikante Unterschiede zu den übrigen Bearbeitungsvarianten auf (Tab. 3). Für Light Bond (Tab. 6) und Phase II (Tab. 7) konnte dies auch für Variante 8 festgestellt werden. Bona Bond plus LC hob sich in Variante 2 bis auf eine Ausnahme signifikant von den übrigen Bearbeitungsvarianten (außer Variante 8) ab (Tab. 8).

- Beauty Ortho Bond unterschied sich in Variante 2 signifikant von den übrigen Bearbeitungsvarianten (außer von den Varianten 1 und 8, Tab. 4).
- Transbond PLUS Color Change Adhesive unterschied sich in Variante 8, abgesehen von drei Ausnahmen (Varianten 10, 11 und 12), signifikant von den übrigen Bearbeitungsvarianten (Tab. 5).
- Von allen untersuchten Materialien war für Beauty Ortho Bond die größte absolute Zunahme der Fluoridfreisetzung mit 0,9 ppm nach Oberflächenbearbeitung (Variante 2) zu verzeichnen (Abb. 15 und 20, Tab. 10 Anhang).
- Die stärkste relative Erhöhung der Fluoridfreisetzung war für Phase II (Variante 8) mit einem Anstieg von mehr als 1000 % zu beobachten (Abb. 18 und 20, Tab. 13 Anhang). Für BonaBond plus LC betrug der relative Anstieg etwa 700 % (Variante 2, Abb. 19 und 20, Tab. 14 Anhang), gefolgt von ConTec LC mit einer Zunahme von 600 % (Variante 8, Abb. 14 und 20, Tab. 9 Anhang). Eine Steigerung der relativen Fluoridfreisetzung um etwa 270 % wurde für Beauty Ortho Bond gemessen (Variante 2, Abb. 15 und 20, Tab. 10 Anhang).
- Die Oberflächenbearbeitung von Transbond PLUS Color Change Adhesive hatte eine Steigerung der relativen Fluoridfreisetzung von etwa 120 % zur Folge (Variante 5, Abb. 16 und 20, Tab. 11 Anhang).
- Es zeigte sich für ConTec LC (Variante 7, Abb. 14 und 20, Tab. 9 Anhang) und Transbond PLUS Color Change Adhesive (Variante 8 und Variante 11, Abb. 16 und 20, Tab. 11 Anhang) eine signifikante Verringerung der Fluoridfreisetzung gegenüber der Referenzgruppe.

Die freigesetzten Fluoridmengen nahmen in der Reihenfolge Transbond PLUS Color Change Adhesive > Beauty Ortho Bond > Light Bond > Phase II > BonaBond plus LC > ConTec LC ab (Abb. 20, Tab. 9 bis 14 Anhang). Die einzige signifikante Ausnahme lag für Variante 11 vor. Dabei war die Fluoridfreisetzung von Phase II höher als von Light Bond (Abb. 20, Tab. 12 und 13 Anhang).

Abbildung 20 gibt einen zusammenfassenden Überblick zu den Fluoridkonzentrationen der Eluate aller untersuchten Komposite nach dem Intervall der 17. bis 20. Woche für die Referenzgruppe und die bearbeiteten Gruppen.

Die einzelnen Messwerte zur Berechnung der mittelwertigen Fluoridkonzentrationen lagen (bis auf vier Messserien) im letzten Messintervall innerhalb des Bereiches Mittelwert ± 2 Standardabweichungen. Für vier Messserien (Transbond PLUS Color Change Adhesive in Variante 10, BonaBond plus LC in Variante 5 und Variante 12, Phase II in Variante 2) lagen die einzelnen Messwerte im Bereich Mittelwert ± 3 Standardabweichungen (Tab. 9 bis 14 im Anhang, Kapitel 9.2).

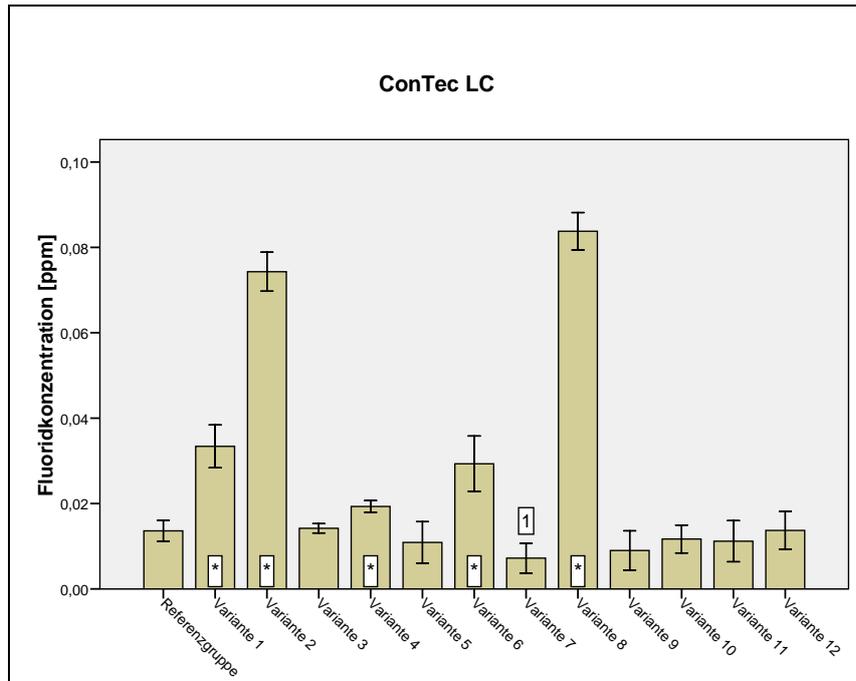


Abb. 14 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche; *: signifikante Steigerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe; 1: signifikante Verringerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur Referenzgruppe.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	sig	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	sig	sig	sig
2	sig											
3	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	ns	ns	ns	ns
4	sig	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	sig	sig	ns
5	sig	sig	ns	sig	sig	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns
6	ns	sig	sig	ns	sig							
7	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	ns	ns	ns	ns
8	sig											
9	sig	sig	ns	sig	ns	sig	ns	sig	sig	ns	ns	ns
10	sig	sig	ns	sig	ns	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns
11	sig	sig	ns	sig	ns	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns
12	sig	sig	ns	ns	ns	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns

Tab. 3 Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für ConTec LC; sig: signifikant ($p < 0,05$); ns: nicht signifikant; Variante 1 bis Variante 12: vgl. Legende von Abbildung 14.

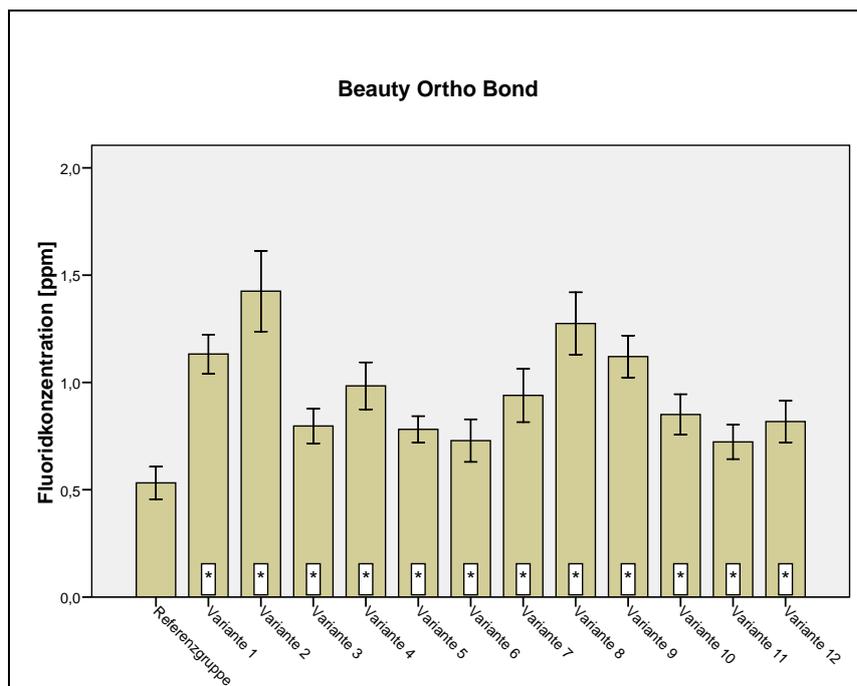


Abb. 15 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche; *: signifikante Steigerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		ns	sig	ns	sig	sig	ns	ns	ns	sig	sig	sig
2	ns		sig	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	sig
3	sig	sig		sig	ns	ns	ns	sig	sig	ns	ns	ns
4	ns	sig	sig		sig	sig	ns	sig	ns	ns	sig	ns
5	sig	sig	ns	sig		ns	ns	sig	sig	ns	ns	ns
6	sig	sig	ns	sig	ns		sig	sig	sig	ns	ns	ns
7	ns	sig	ns	ns	ns	sig		sig	ns	ns	sig	ns
8	ns	ns	sig	sig	sig	sig	sig		ns	sig	sig	sig
9	ns	sig	sig	ns	sig	sig	ns	ns		sig	sig	sig
10	sig	sig	ns	ns	ns	ns	ns	sig	sig		ns	ns
11	sig	sig	ns	sig	ns	ns	sig	sig	sig	ns		ns
12	sig	sig	ns	ns	ns	ns	ns	sig	sig	ns	ns	

Tab. 4 Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Beauty Ortho Bond; sig: signifikant ($p < 0,05$); ns: nicht signifikant; Variante 1 bis Variante 12: vgl. Legende von Abbildung 15.

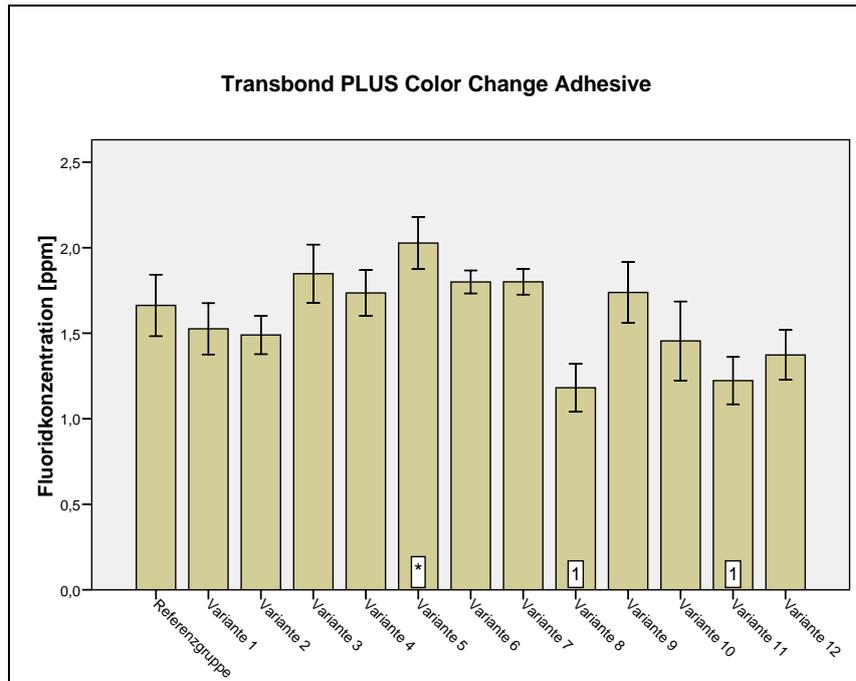


Abb. 16 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche; □*: signifikante Steigerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe; □1: signifikante Verringerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur Referenzgruppe.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	■	ns	sig	ns	Sig	sig	sig	sig	ns	ns	sig	ns
2	ns	■	sig	sig	Sig	sig	sig	sig	ns	ns	sig	ns
3	sig	sig	■	ns	ns	ns	ns	sig	ns	sig	sig	sig
4	ns	sig	ns	■	sig	ns	ns	sig	ns	ns	sig	sig
5	sig	sig	ns	sig	■	ns	ns	sig	ns	sig	sig	sig
6	sig	sig	ns	ns	ns	■	ns	sig	ns	ns	sig	sig
7	sig	sig	ns	ns	ns	ns	■	sig	ns	ns	sig	sig
8	sig	■	sig	ns	ns	ns						
9	ns	sig	■	ns	sig	sig						
10	ns	ns	sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns	■	ns	ns
11	sig	ns	sig	ns	■	ns						
12	ns	ns	sig	sig	sig	sig	sig	ns	sig	ns	ns	■

Tab. 5 Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Transbond Plus Color Change Adhesive; sig: signifikant ($p < 0,05$); ns: nicht signifikant; Variante 1 bis Variante 12: vgl. Legende von Abbildung 16.

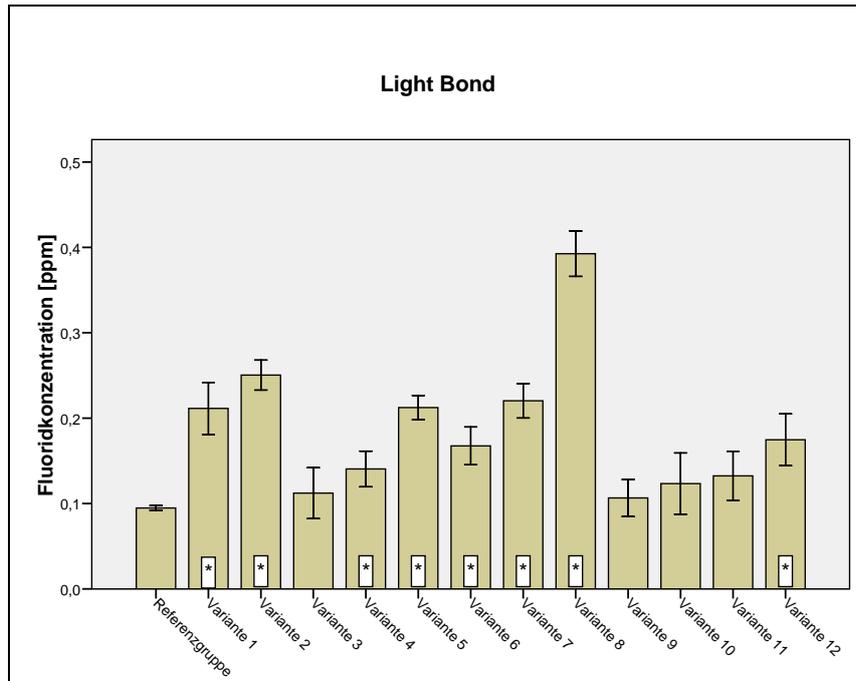


Abb. 17 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche; *: signifikante Steigerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ns	ns	sig	sig	ns	ns	ns	sig	sig	sig	sig	ns
2	ns	ns	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	sig	sig
3	sig	sig	ns	ns	sig	sig	sig	sig	ns	ns	ns	sig
4	sig	sig	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns	ns	ns	ns
5	ns	sig	sig	sig	ns	sig	ns	sig	sig	sig	sig	ns
6	ns	sig	sig	ns	sig	ns	sig	sig	sig	ns	ns	ns
7	ns	ns	sig	sig	ns	sig	ns	sig	sig	sig	sig	ns
8	sig	ns	sig	sig	sig	sig						
9	sig	sig	ns	ns	sig	sig	sig	sig	ns	ns	ns	sig
10	sig	sig	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns	ns	ns	ns
11	sig	sig	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns	ns	ns	ns
12	ns	sig	sig	ns	ns	ns	ns	sig	sig	ns	ns	ns

Tab. 6 Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Light Bond; sig: signifikant ($p < 0,05$); ns: nicht signifikant; Variante 1 bis Variante 12: vgl. Legende von Abbildung 17.

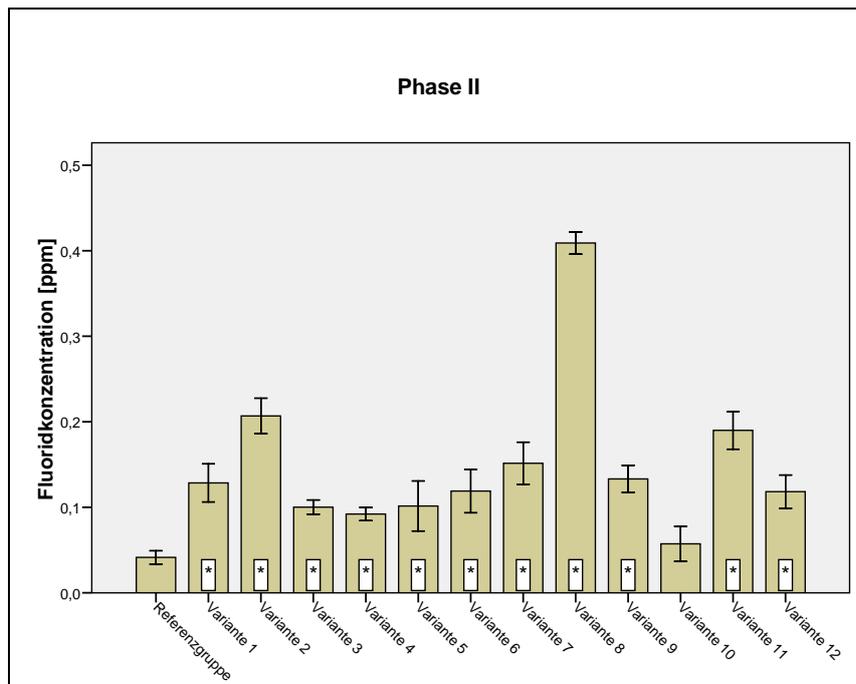


Abb. 18 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche; * : signifikante Steigerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns
2	sig	ns	sig	ns	sig							
3	ns	sig	ns	ns	ns	ns	sig	sig	sig	sig	sig	ns
4	sig	sig	ns	ns	ns	ns	sig	sig	sig	sig	sig	ns
5	ns	sig	ns	ns	ns	ns	sig	sig	ns	ns	sig	ns
6	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns
7	ns	sig	sig	sig	sig	ns	ns	sig	ns	sig	ns	ns
8	sig	ns	sig	sig	sig	sig						
9	ns	sig	sig	sig	ns	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns
10	sig	sig	sig	ns	ns	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig
11	sig	ns	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	ns	sig
12	ns	sig	ns	ns	ns	ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns

Tab. 7 Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Phase II; sig: signifikant ($p < 0,05$); ns: nicht signifikant; Variante 1 bis Variante 12: vgl. Legende von Abbildung 18.

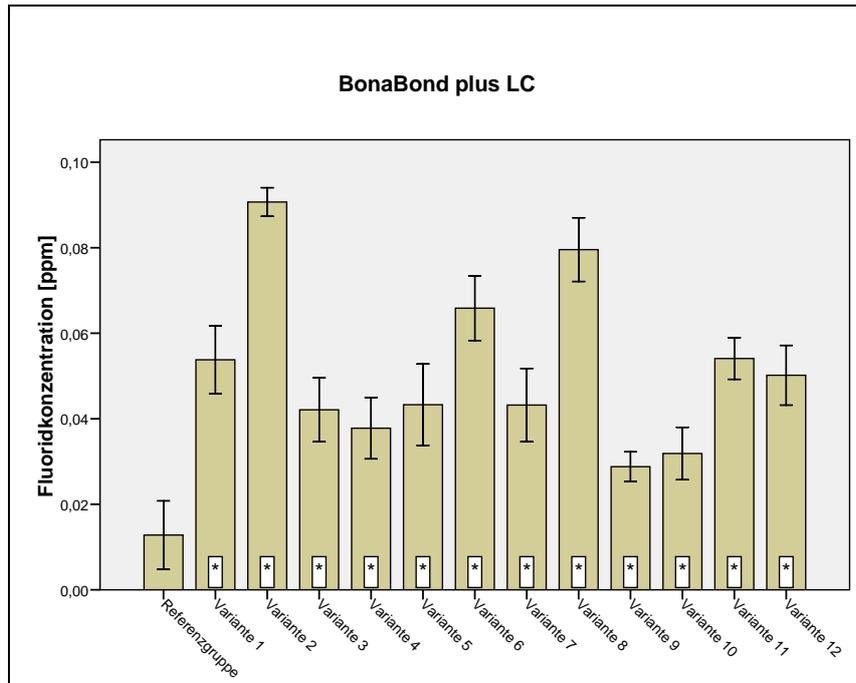


Abb. 19 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche; *: signifikante Steigerung ($p < 0,05$) der Fluoridfreisetzung im Vergleich zur unbestrahlten Referenzgruppe.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

Varianten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		sig	ns	sig	ns	ns	ns	sig	sig	sig	ns	ns
2	sig		sig	sig	sig	sig	sig	ns	sig	sig	sig	sig
3	ns	sig		ns	ns	sig	ns	sig	sig	ns	sig	ns
4	sig	sig	ns		ns	sig	ns	sig	ns	ns	sig	ns
5	ns	sig	ns	ns		sig	ns	sig	ns	ns	ns	ns
6	ns	sig	sig	sig	sig		sig	ns	sig	sig	ns	sig
7	ns	sig	ns	ns	ns	sig		sig	sig	ns	ns	ns
8	sig	ns	sig	sig	sig	ns	sig		sig	sig	sig	sig
9	sig	sig	sig	ns	ns	sig	sig	sig		ns	sig	sig
10	sig	sig	ns	ns	ns	sig	ns	sig	ns		sig	sig
11	ns	sig	sig	sig	ns	ns	ns	sig	sig	sig		ns
12	ns	sig	ns	ns	ns	sig	ns	sig	sig	sig	ns	

Tab. 8 Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für BonaBond plus LC; sig: signifikant ($p < 0,05$); ns: nicht signifikant; Variante 1 bis Variante 12: vgl. Legende von Abbildung 19.

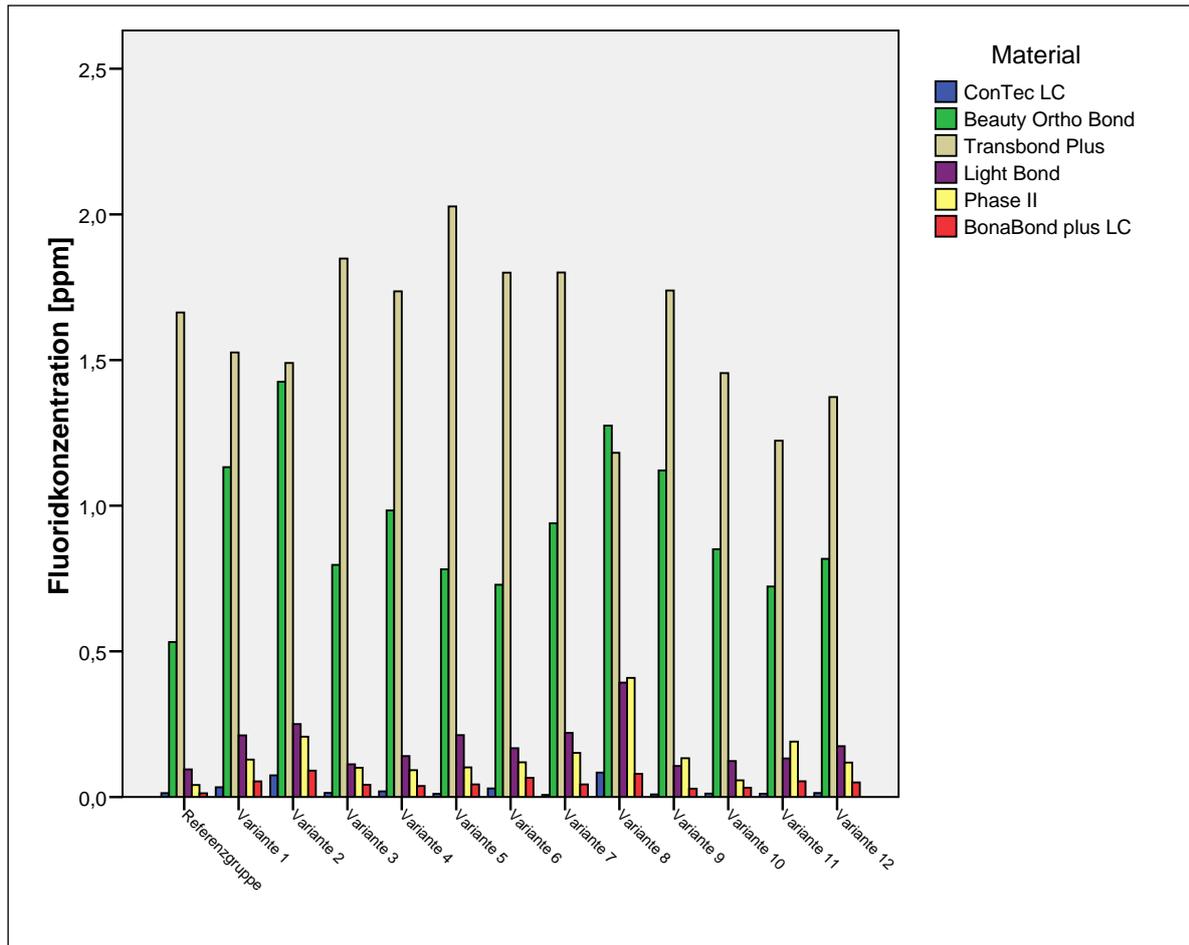


Abb. 20 Zusammenfassende Darstellung der Fluoridkonzentrationen der Eluate aller untersuchten Komposite nach dem Intervall der 17. bis 20. Woche für die unbestrahlte Referenzgruppe und die verschiedenen Bearbeitungsvarianten.

Varianten	PWS	Pulver	Einstellung	Varianten	PWS	Pulver	Einstellung
1	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	A	7	easyjet pro	FLASH pearl	A
2	Prophy-Mate neo	FLASH pearl	B	8	easyjet pro	FLASH pearl	B
3	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	A	9	easyjet pro	prophylaxis powder	A
4	Prophy-Mate neo	prophylaxis powder	B	10	easyjet pro	prophylaxis powder	B
5	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	A	11	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	A
6	Prophy-Mate neo	Clinpro Prophy P.	B	12	easyjet pro	Clinpro Prophy P.	B

(PWS: Pulver-Wasser-Strahlgerät; Clinpro Prophy P.: Clinpro Prophy Powder; Einstellung A: maximal Wasser; Einstellung B: ohne Wasser)

6 DISKUSSION

6.1 Diskussion der Fragestellung

Durch die kontinuierliche Freisetzung geringer Fluoridmengen im Bereich der Attachments konnten im Vergleich zu einmaligen hochdosierten Applikationen höhere kariostatische Effekte erzielt werden^{37, 168}. Daher wurden Komposite zur adhäsiven Befestigung von Brackets mit Fluorid versetzt^{28, 177}, um ein Fluoridreservoir zu schaffen, aus dem kontinuierlich Fluoridionen freigesetzt werden^{12, 28, 51, 83, 177}.

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, unterschiedliche Adhäsive hinsichtlich ihrer Fluoridfreisetzung zu untersuchen. Dass verschiedene Bracketadhäsive Unterschiede in der Fluoridfreisetzung zeigen, konnte bereits in zahlreichen Untersuchungen gezeigt werden^{28, 36, 105, 139, 158}.

Ferner sollte geprüft werden, inwieweit die Oberflächenbearbeitung der Adhäsive mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten einen Einfluss auf die Fluoridfreisetzung hat. In verschiedenen Studien wurden nach der Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten (speziell mit Natriumbikarbonat) Aufrauungen und Abrasionen der Oberfläche festgestellt^{57, 100, 105, 158, 178}.

Von besonderem Interesse war es, die Wirkung unterschiedlicher Reinigungspulver (Glycin, Natriumbikarbonat, Kalziumkarbonat) auf die Fluoridfreisetzung der Bracketadhäsive zu untersuchen, da bereits gezeigt werden konnte, dass sich die Pulver hinsichtlich ihrer Abrasivität unterscheiden^{61, 184}.

6.2 Diskussion der Materialauswahl

Die untersuchten fluoridfreisetzenden Adhäsive (ConTec LC, Phase II, Light Bond, BonaBond plus LC, Beauty Ortho Bond und Transbond PLUS Color Change Adhesive) sind kompositbasiert^{20, 43, 133, 201, 203, 219}. Bei Beauty Ortho Bond handelt es sich um ein Giomer^{113, 219}. Bei Transbond PLUS Color Change Adhesive handelt es sich um ein Komposit mit kompomerähnlichen Füllstoffen¹³³. Die Auswahl dieser Materialien diente dazu, Zusammenhänge zwischen der Art der Fluoridverbindungen im Adhäsiv und einer möglichen Steigerung der Freisetzung durch die oberflächliche

Bestrahlung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei Verwendung verschiedener Reinigungspulver zu untersuchen.

Das fluoridfreie Bracketadhäsiv Tectosan wurde ausgewählt, um nachzuweisen, dass durch das Versuchsdesign über den Messzeitraum hinweg kein Fluorid von extern in den Versuchsablauf gelangte.

6.3 Diskussion der Methode

6.3.1 Herstellung und Lagerung der Prüfkörper

HOTZ et al.⁹⁸ konnten zeigen, dass Form und Volumen der Prüfkörper einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Fluoridfreisetzung besitzen. Daher wurden aus den verschiedenen Materialien Prüfkörper gleicher Form hergestellt. Um vergleichbare Diffusionsbedingungen zu schaffen, wurden die Prüfkörper in gleichen Volumina deionisierten Wassers gelagert.

Zur Prüfkörperherstellung wurden die zu untersuchenden Materialien in Scheibenform gebracht, indem sie in Ringe gefüllt wurden. Die Geometrie der Prüfkörperscheiben war bereits in vorangegangenen Studien verwendet worden, so dass Vergleichswerte vorlagen, da das Verhältnis zwischen Probenvolumen und Größe der Oberfläche gleich war^{60, 105, 158}. Die gewählte Prüfkörperform unterscheidet sich zwar von der klinischen Situation, bietet jedoch die Möglichkeit, konstante Prüfkörperoberflächen zu garantieren.

Um möglichst einheitliche Oberflächen der Prüfkörper zu erzielen, wurden die Prüfkörper zwischen zwei planen Glasplatten ausgehärtet. Die so angefertigten glatten Oberflächen entsprechen zwar nicht der klinischen Situation, ihre Herstellung ist aber gut reproduzierbar. Die Ober- und Unterseite der Prüfkörper waren durch Kisol Folie von der jeweiligen Glasplatte getrennt und während der Polymerisation wirkte auf die obere Glasplatte eine senkrecht wirkende Last von 5 N. Um ein Kippen der oberen Glasplatte zu vermeiden, wurde an den vier Ecken der unteren Glasplatte jeweils ein leerer Delrin-Ring als Kippmeider angebracht. Die Photopolymerisation erfolgte von oben und unten in einem 90°-Winkel zum Prüfkörper durch die jeweilige Glasplatte.

Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten lichthärtenden Adhäsive (Beauty Ortho Bond, Transbond PLUS Color Change Adhäsive, ConTec LC, Light Bond, BonaBond plus LC, Tectosan) enthalten den Photoinitiator Campherchinon^{21, 45, 132, 202, 220}. BonaBond plus LC und Tectosan enthalten zusätzlich noch Lucirin TPO²¹. Mit der zur Polymerisation verwendeten bluephase 20i konnte ein Wellenlängenspektrum von 380 nm bis 515 nm abgedeckt und die beiden Absorptionsmaxima bei 410 nm (Lucirin TPO) und 470 nm (Campherchinon) erreicht werden¹⁰³. Die Lichtintensität betrug für jede Polymerisation 1200 mW/cm². Die gewählte Dauer und Lichtintensität richteten sich nach den Vorgaben der Adhäsivhersteller zur Polymerisation von Metallbrackets. So war zur Polymerisation eine Intensität von 1000 mW/cm² gefordert. Da diese Intensität an der bluephase 20i nicht auszuwählen war, wurde bei 1200 mW/cm² photopolymerisiert (Einstellung HIGH).

Von entscheidender Bedeutung ist, dass während des gesamten Versuchsablaufes keine Fluoride von extern zugeführt wurden. Demnach durften die zur Prüfkörperherstellung verwendeten Delrin-Ringe kein Fluorid enthalten oder freisetzen. Die Delrin-Ringe bestanden aus POM (Polyoxymethylen)²⁰⁰. Da die fluoridfreien Kontrollgruppen (Tectosan) keine Fluoridfreisetzungen zeigten, kann ausgeschlossen werden, dass darüber Fluorid in den Versuchsablauf gelangte. Dies steht im Einklang mit den Untersuchungsergebnissen von Endt⁶⁰.

Deionisiertes Wasser als Lagerungsmedium für die Prüfkörper entspricht nicht den Bedingungen der Mundhöhle, schafft aber reproduzierbare Verhältnisse, die auch in zahlreichen anderen Studien verwendet wurden^{28, 60, 105, 158}. Das verwendete deionisierte Wasser entstammte einem Vollentsalzer (Aqua Purificator G7795/1 kombiniert mit TKA Mischbettsystem)^{147, 237} und ist in qualitativer Hinsicht vergleichbar mit Aqua destillata^{66, 214}. Im Rahmen der Vorversuche wurde die Fluoridkonzentration des später als Aufbewahrungslösung verwendeten deionisierten Wassers gemessen. Dabei wurde ein Delrin-Ring für 28 Tage \pm 4 h in einem mit 2,5 ml deionisiertem Wasser gefüllten Polypropylen-Röhrchen gelagert. Es konnte im Aufbewahrungsmedium kein Fluorid festgestellt werden. Das gewählte Aufbewahrungsvolumen von 2,5 ml für einen Zeitraum von 4 Wochen entspricht sicher nicht den In-vivo-Bedingungen. Damit besteht jedoch die Möglichkeit, eine exakte Beurteilung der Fluoridfreisetzungen und deren Vergleich untereinander

vorzunehmen. Außerdem stellt deionisiertes Wasser eine kostengünstige Alternative zu beispielsweise künstlichem Speichel dar. Die alternative Verwendung von Speichel (human oder künstlich) hat im Vergleich zu deionisiertem Wasser bei gleichem pH-Wert niedrigere Fluoridfreisetzungen zur Folge^{56, 72, 139, 169}. Bei der Wahl von künstlichem Speichel als Lagerungsmedium bleibt zudem noch zu bedenken, dass auch damit nicht exakt die realen Verhältnisse in der Mundhöhle simuliert werden können. Individuelle Unterschiede des Speichels hinsichtlich der Zusammensetzung, des pH-Wertes und der Menge bleiben auch bei Verwendung von künstlichem Speichel unberücksichtigt. Zudem können organische Bestandteile im künstlichen Speichel die Empfindlichkeit der Lanthan-Fluorid-Kristallmembran an der Fluoridelektrode stören²⁵². Daher wurde deionisiertes Wasser zur Prüfkörperlagerung verwendet.

Zur Vermeidung von Interaktionen zwischen Glas und Fluorid wurden die Prüfkörper nicht in Reagenzgläsern aus Glas, sondern in Polypropylen-Röhrchen aufbewahrt. Die Fluoridfreisetzung erfolgte vornehmlich aus der Ober- und Unterseite der Prüfkörper, die vom Delrin-Ring umgrenzt waren. Zur ungehinderten Fluoridfreisetzung wurden die Prüfkörper in Polypropylen-Röhrchen mit halbrundem Boden gelagert. Die Prüfkörper hatten ausschließlich über den Delrin-Ring Kontakt zur Innenfläche der Polypropylen-Röhrchen. Damit konnten die Prüfkörperober- und unterseite in Diffusionsprozesse eingeschlossen werden. Alternativ zu dieser Aufbewahrungsvariante hatte SWIFT²³⁰ seine Prüfkörper an Ligaturendrähten fixiert, um die gesamte Probenoberfläche in Kontakt mit der Aufbewahrungslösung zu bringen.

Die Aufbewahrung der Prüfkörper erfolgte im Brutschrank bei einer konstanten Temperatur von 37 °C. Die gewählte Temperatur entspricht der Körperkerntemperatur des Menschen. In zahlreichen Studien wurden Prüfkörper bei dieser Umgebungstemperatur gelagert^{28, 60, 105, 139, 158, 252}. Eine Alternative zu dieser Aufbewahrungsvariante stellt das Thermocycling dar. Dabei werden die Prüfkörper in vitro vergleichbaren thermischen Belastungen wie unter In-vivo-Verhältnissen unterzogen. Über die gewählte Temperaturdifferenz und Zyklenanzahl können Alterungsprozesse simuliert werden²⁴⁵.

Die Prüfkörper wurden nach einer Lagerungszeit von 28 Tagen \pm 4 Stunden in ein frisches Aufbewahrungsmedium und Polypropylen-Röhrchen transferiert, um die

Fluoridfreisetzung der verschiedenen Materialien charakterisieren zu können. Diese Lagerungsform, bei der die Prüfkörper von einer konstanten Flüssigkeitsmenge umgeben waren, entspricht sicher nicht den In-vivo-Bedingungen. Damit konnten jedoch die Fluoridfreisetzungen einzelner Zeitintervalle in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen verglichen werden. Die statistische Auswertung wurde auf das letzte Messintervall begrenzt, um die Langzeitfluoridfreisetzung zu untersuchen. Die Mess- und Wechselintervalle variieren bei verschiedenen Autoren erheblich. JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, ENDT⁶⁰ und NEDWED¹⁵⁸ wählten ebenfalls einen 20-wöchigen Untersuchungszeitraum, jedoch wurden die Abstände der Mess- und Wechselintervalle initial kürzer gewählt. Bereits 24 Stunden und 7 Tage nach der Prüfkörperherstellung wurden Fluoridmessungen und Erneuerungen der Aufbewahrungslösung vorgenommen.

CACCIAFESTA et al.²⁸ wählten einen Untersuchungszeitraum von 3 Monaten. Innerhalb der ersten 7 Tage betrug das Mess- und Wechselintervall 24 Stunden, für den restlichen Versuchsverlauf wurde ein wöchentliches Intervall gewählt. MCNEILL und Mitarbeiter¹³⁹ legten einen Versuchszeitraum von 6 Monaten fest. Innerhalb der ersten Versuchswoche wurde ein Mess- und Wechselintervall von 24 Stunden eingehalten. Für die folgenden 3 Wochen wurde ein wöchentliches Intervall gewählt. In den darauf folgenden 3 Monaten wurde monatlich gemessen und gewechselt. Die abschließende Fluoridmessung erfolgte nach 6 Monaten.

Diese Vielfalt an Messzeiträumen wirkt sich jedoch nachteilig auf die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse aus. Durch ein enges Mess- und Wechselintervall zu Beginn des Versuchszeitraums war es den Autoren^{28, 60, 105, 139, 158} allerdings möglich, die Fluoridfreisetzungen besser beurteilen und vergleichen zu können. Da in der vorliegenden Untersuchung ein konstantes Mess- und Wechselintervall bestand, war eine Beurteilung der initialen Fluoridfreisetzung nicht so detailliert möglich wie bei JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, ENDT⁶⁰, NEDWED¹⁵⁸, CACCIAFESTA et al.²⁸ sowie MCNEILL et al.¹³⁹.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Prüfkörper während der Lagerung im Brutschrank in einer ruhenden Flüssigkeit aufbewahrt. Alternativ wäre auch eine Lagerung in einer bewegten Flüssigkeit denkbar gewesen. Ein solcher Versuchsaufbau hätte den realen intraoralen Verhältnissen mehr entsprochen. Über

den tatsächlichen Einfluss eines bewegten Lagerungsmediums auf die Fluoridfreisetzung gibt es jedoch unterschiedliche Auffassungen^{68, 139}.

6.3.2 Bestrahlen der Prüfkörper

Die Bearbeitung der Prüfkörperoberfläche erfolgte halbseitig von oben und unten. Dazu wurden die Prüfkörper in eine Aluminiumhalterung eingespannt. Die Prüfkörper verfügten über eine Nut am äußeren Rand, über diese war eine genaue Reponierung der Prüfkörper in der Aluminiumhalterung möglich. Damit wurde sichergestellt, dass immer die gleichen Hälften der Prüfkörper bearbeitet wurden.

Das halbseitige Abstrahlen von oben und unten erfolgte für je zwei Sekunden. Der gewählten Zeitvorgabe liegen folgende Überlegungen zu Grunde:

Bei einem Innendurchmesser eines Delrin-Ringes von 7 Millimetern betrug die Fläche $38,48 \text{ mm}^2$ ($\pi \times (3,5 \text{ mm})^2 = 38,48 \text{ mm}^2$). Dies entspricht etwa 1/32 der gesamten bukkalen Zahnkronenfläche ($1233,26 \text{ mm}^2 / 38,48 \text{ mm}^2 = 32,05$)^{60, 158}.

Vorausgesetzt, dass die Reinigung bei PWS-Anwendung drei Minuten dauert und die bukkalen Bereiche dabei zwei Minuten in Anspruch nehmen, entfallen auf die Bearbeitung der Prüfkörper 3,74 Sekunden ($120 \text{ s} / 32,05 = 3,74 \text{ s}$)¹¹⁰. Demnach beträgt die Bearbeitungszeit pro Probenseite 1,87 Sekunden. Aus Praktikabilitätsgründen wurde die Bearbeitungszeit auf zwei Sekunden gerundet. Bei der Berechnung der Anwendungsdauer bleibt jedoch unberücksichtigt, dass sich die verschiedenen Retentionsnischen je nach Bracket- und Bandmorphologie unterscheiden. Zudem ist das Ausmaß der Plaqueablagerungen und damit der Reinigungsbedarf von der Intensität der individuellen Mundhygiene abhängig^{74, 228}.

Da die Bestrahlungsdauer auf einer Digitaluhr abgezählt wurde, können Schwankungen zwischen den einzelnen Anwendungen aufgetreten sein, die zu unterschiedlichem Materialabtrag führten. Bei viermaliger PWS-Anwendung wurden die Prüfkörper pro Seite 8 s bestrahlt. JOST-BRINKMANN¹⁰⁵ stellte bei dieser Bestrahlungsdauer einen deutlichen Materialabtrag nach PWS-Anwendung mit Natriumbikarbonat auf Zement- und Kunststoff-Proben fest, wobei eine längere Bestrahlung keine Steigerung der Oberflächenrauigkeit zu haben schien. Anzumerken bleibt, dass für zukünftige Studien eine automatische PWS-Abschaltung für eine konstante Anwendungsdauer wie bei JOST-BRINKMANN¹⁰⁵ verwendet werden sollte, um diesen Einflussfaktor auszuschließen.

Die Oberflächenbearbeitung wurde nach einer Lagerungszeit von 4, 8, 12 und 16 Wochen durchgeführt, um ein vierwöchiges Behandlungsintervall bei Patienten mit kieferorthopädischen Apparaturen zu simulieren. Über den gesamten Versuchsverlauf wurde auf den bestrahlten Prüfkörperoberflächen eine viermalige PWS-Anwendung durchgeführt. Bei einer Prüfkörperoberfläche von 1/32 der gesamten bukkalen Zahnkronenfläche betrug die entsprechende Bearbeitungszeit nur 3,74 s pro Prüfkörperseite ¹⁰⁵. Da in der Aluminiumhalterung nur die halbe Fläche eines Prüfkörpers bestrahlt werden konnte, mit dem Ziel stets die gleiche Fläche zu bearbeiten, mussten die halbe Vorder- und Rückseite der Prüfkörper jeweils 1,87 s bestrahlt werden ¹⁰⁵. Vor dem Hintergrund der Vielzahl an Prüfkörpern, die bearbeitet und gelagert werden mussten, waren die geringe Bearbeitungszeit und Prüfkörpergröße als positiv zu bewerten.

Während des Abstrahlens wurde das Sprayhandstück zügig hin- und herbewegt und ein Abstand zum Prüfkörper zwischen drei und fünf Millimetern eingehalten. Der gewählte Abstand orientierte sich an den Hersteller-Empfehlungen der untersuchten PWS ^{140, 164}. Da dem Bestrahlungsabstand ein maßgeblicher Einfluss auf den Substanzabtrag zukommt ¹⁸⁵, können Schwankungen im Ausmaß der Oberflächenbearbeitung aufgetreten sein, die die untersuchten Einstellungsparameter überlagern. Ob eventuelle Abweichungen vom angestrebten Abstand die Ergebnisse beeinflussen, kann nicht sicher beantwortet werden.

Von den Herstellern der Reinigungspulver werden unterschiedliche Bestrahlungswinkel empfohlen ^{131, 161}. Für das Reinigungspulver auf der Basis von Kalziumkarbonat wurde vom Hersteller ein Bestrahlungswinkel zwischen 10° und 60° empfohlen ¹⁶¹. Reinigungspulver auf Glycinbasis sollte in einem Winkel zwischen 30° und 60° verwendet werden ¹³¹. Für das verwendete Natriumbikarbonatpulver gibt es diesbezüglich keine Hersteller-Empfehlungen ¹⁴². In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Bestrahlungswinkel zwischen 30° und 60° gewählt. Dieser Bereich erschien sinnvoll, da er mit bloßem Auge relativ zuverlässig eingehalten werden kann. Bezüglich des Materialabtrages in Abhängigkeit vom Bestrahlungswinkel gibt es unterschiedliche Auffassungen. PETERSILKA et al. ¹⁸⁵ untersuchten die Auswirkung unterschiedlicher Bestrahlungswinkel (45° und 90°) hinsichtlich Defekttiefe und -volumen auf Wurzeloberflächen und konnten zwischen den beiden Winkeleinstellungen keine wesentlichen Unterschiede feststellen. BARNES et al. ¹¹

konnten jedoch zeigen, dass ein Bestrahlungswinkel von 90° einen geringeren Materialabtrag auf Komposit zur Folge hatte als der vom Hersteller empfohlene Bereich zwischen 60° und 80°. Für die eigenen Ergebnisse könnte dies bedeuten, dass ein relativ geringer Bestrahlungswinkel zwischen 30° und 60° einen hohen Materialabtrag und folglich auch einen starken Anstieg der Fluoridfreisetzung bewirkt hat. Da nur dieser eine Bestrahlungsbereich zwischen 30° und 60° untersucht wurde, kann anhand der vorliegenden Ergebnisse keine Aussage zur Auswirkung verschiedener Bestrahlungswinkel auf die Fluoridfreisetzung gemacht werden.

Den experimentellen Aufbau und die Durchführung könnte man in zukünftigen Untersuchungen so gestalten, dass fixe Rahmenbedingungen (Abstand, Bestrahlungswinkel) über den gesamten Versuchsablauf hinweg bestehen. Jedoch lassen sich damit schnelle Bewegungen des Sprayhandstückes nur schwer durchführen. Daher kann unter Umständen nicht die unter In-vivo-Bedingungen zu erwartende Variabilität erreicht werden.

Nach dem Abstrahlen der Prüfkörper wurden diese durch intensives Abspülen (20 Sekunden mit Leitungswasser und im Anschluss für 5 Sekunden mit deionisiertem Wasser) von zurückgebliebenen Pulverresten befreit, durch Filterpapier oberflächliches Wasser aufgenommen und die Prüfkörper schließlich in das frische Aufbewahrungsmedium transferiert. Damit sollte die Prüfkörperoberfläche von zurückgebliebenem Reinigungspulver befreit werden. Vor dem Hintergrund, dass FLASH pearl zu < 0,5 Gew.-% Kalziumfluorid enthält ¹⁶², sollte das intensive Reinigen der Prüfkörper eine Verfälschung der Messergebnisse verhindern. Da die fluoridfreie Kontrollgruppe (Tectosan) nach der PWS-Anwendung keine Fluoridfreisetzung zeigte, kann davon ausgegangen werden, dass das intensive Spülen der Prüfkörper erfolgreich war. Das beschriebene Vorgehen zum Spülen der Prüfkörper orientiert sich an der Arbeit von NEDWED ¹⁵⁸. In der vorliegenden Arbeit wurde zusätzlich oberflächliches Wasser durch Filterpapier entfernt, um einer Verfälschung des Lagerungsvolumens durch mitgeführte Flüssigkeitsrückstände entgegenzuwirken. Ein kurzer Kontakt zwischen Prüfkörper und Filterpapier war ausreichend, um oberflächliches Wasser zu entfernen. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Oberfläche der Prüfkörper durch tiefe Austrocknungsprozesse Risse bekam, was eine Oberflächenvergrößerung zur Folge gehabt hätte.

JOST-BRINKMANN ¹⁰⁵ sowie PETERSILKA et al. ¹⁸⁶ konnten zeigen, dass die austretende Pulvermenge bei verschiedenen Geräten vom Füllstand der Pulverkammer abhängig ist. Um einen möglichst konstanten Pulverstrahl zu erhalten, wurde die Pulverkammer im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nach 5 Abstrahlungen wieder maximal befüllt.

Da in der vorliegenden Arbeit die Oberflächenbearbeitung auf nur eine Probenhälfte beschränkt war, bleibt bei der Bewertung der Fluoridkonzentrationen zu bedenken, dass sich die Freisetzungen der bestrahlten und der unbestrahlten Probenhälften überlagern.

Zur Beurteilung des Materialabtrages nach PWS-Anwendung eignen sich profilometrische ^{105, 131, 158} und rasterelektronenmikroskopische ^{131, 178, 253} Untersuchungen von Oberflächen und -querschnitten. Besonders die Darstellung des Materialabtrages auf Bracketadhäsiven durch diese beiden Verfahren könnte Ansatzpunkt weiterer Untersuchungen sein.

6.3.3 Messmethode zum Bestimmen der Fluoridkonzentration und Auswertung

Die Verwendung einer ionenselektiven Fluoridelektrode zum Bestimmen der Fluoridkonzentration in wässrigen Lösungen kann als Standardverfahren angesehen werden und fand bereits in zahlreichen Studien Anwendung ^{13, 28, 60, 105, 139, 158, 206, 211, 246, 248}.

Nach Entnahme der Polypropylen-Röhrchen aus dem Brutschrank wurde ausreichend Zeit (mindestens eine Stunde) zur Adaptation des Aufbewahrungsmediums an die Raumtemperatur eingehalten.

Bevor Konzentrationsmessungen durchgeführt wurden, hatte zuvor stets eine Überprüfung der Elektrodensteilheit S stattgefunden. Die Elektrodensteilheit S wurde durch Kalibrierung ermittelt und lag in dem für die Messung von Fluoridkonzentrationen akzeptablen Bereich von -56 ± 4 mV ⁸⁸. Die Elektrodensteilheit S ist temperaturabhängig. Da während der Konzentrationsbestimmungen keine permanente Kontrolle der Raumtemperatur stattgefunden hat, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es während der Messungen zu Abweichungen der Raumtemperatur kam. Die Messapparatur wurde zwar vor direkter Sonneneinstrahlung

geschützt, allerdings kann ein Einfluss auf die Raumtemperatur nicht ausgeschlossen werden. Dies könnte zu Ungenauigkeiten beim Bestimmen der Fluoridkonzentration geführt haben, da die Elektrodensteilheit nur zu Beginn eines Messtages geprüft wurde.

Vor der Konzentrationsbestimmung wurde die Kalibrierung mit mindestens drei Lösungen bekannter Fluoridkonzentration vorgenommen. Nachdem 10 Konzentrationen bestimmt waren, wurde erneute kalibriert, um den Messfehler möglichst gering zu halten. Die Kalibrierlösungen wurden stets am Tag der Messung aus Standardlösungen mit bekannter Konzentration frisch hergestellt.

Mit Hilfe der aus der Kalibrierung erhaltenen Werte wurde eine lineare Funktion erstellt, worüber dem mit der Elektrode gemessenen Potenzial die entsprechende Konzentration in parts per million rechnerisch zugeordnet wurde. Für das Erstellen der linearen Funktion wurden die beiden nächstgelegenen Potenziale aus der Kalibrierung verwendet. Bei der Kalibrierung wurde eine möglichst genaue Eingrenzung der Messbereiche angestrebt. Für eine noch exaktere Eingrenzung wäre eine Kalibrierung mit mehr als drei Kalibrierlösungen nötig gewesen. Zwischen den Messungen der einzelnen Proben wurde die Elektrode gründlich mit deionisiertem Wasser gespült und mögliche Resttropfen mit Filterpapier abgenommen.

Um Komplexbildungen der Fluoridionen mit Aluminium- oder Eisenionen zu vermeiden, wurde jeder Probenlösung TISAB II als „Hintergrund-Lösung“ im Verhältnis 1:1 zugegeben. Durch die TISAB-Lösung wird ein pH-Wert ≤ 5 eingestellt. Damit soll die Gesamt-Ionenstärke auf einem konstanten Niveau gehalten und möglichen Störungen durch Hydroxidionen vorgebeugt werden. Eine gleichmäßige Hintergrund-Ionenstärke von Proben- und Kalibrierlösung ist die Voraussetzung für reproduzierbare Ergebnisse. Nur in diesem Fall ist die Aktivität der freien Elektronen direkt proportional zur Konzentration^{88, 255}.

Alternative Methoden zur Bestimmung der Fluoridkonzentration sind das Standard-Additionsverfahren und die Direktmessung. Die Direktmessung stellt eine zeitsparende Möglichkeit zur Bestimmung der Fluoridkonzentration dar, bei der eine direkte Ausgabe der Fluoridionen-Konzentration in parts per million über einen Mikroprozessor erfolgt. Mit der ionensensitiven Fluorid-Einstabmesskette ORION Modell 96-09 in Kombination mit dem mikroprozessorgesteuerten Ionenmeter

ORION EA 940 (Firma ORION RESEARCH, Inc., Beverly, MA, USA) ist diese Messmethode möglich und wurde von JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, ENDT⁶⁰ und NEDWED¹⁵⁸ genutzt. Mit der in dieser Arbeit verwendeten ionensensitiven Fluoridelektrode HI 4110 konnte keine Direktmessung durchgeführt werden. Da es sich bei den untersuchten Flüssigkeiten durchweg um wässrige Lösungen mit geringen Fluoridkonzentrationen handelte, konnte auf das zeitlich aufwändigere Standard-Additionsverfahren verzichtet werden. Bei diesem Analyseverfahren ist jede Konzentrationsbestimmung mit einer Neukalibrierung verbunden⁸⁸.

Die errechneten Konzentrationen in parts per million ermöglichen einen Vergleich der Materialien innerhalb der Studie. Es wäre ebenfalls möglich gewesen, die Fluoridfreisetzung als Fluoridmenge pro Quadratcentimeter Prüfkörperoberfläche ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) anzugeben. Damit wird jedoch der Anschein erweckt, dass Ergebnisse unterschiedlicher Studien 1:1 miteinander vergleichbar sind. Unberücksichtigt bleiben dabei jedoch Qualität und Quantität der Aufbewahrungslösung, sowie das eigentliche Probenvolumen. So unterschieden sich verschiedene Studien^{28, 60, 105, 139, 158, 252} beispielsweise hinsichtlich der Menge an Lagerungsflüssigkeit. JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, ENDT⁶⁰, NEDWED¹⁵⁸ sowie CACCIAFESTA et al.²⁸ wählten ein Lagerungsvolumen von 5 ml. WILTSHIRE²⁵² et al. sowie MCNEILL und Mitarbeiter¹³⁹ lagerten ihre Prüfkörper in einem Flüssigkeitsvolumen von 1 ml. In der vorliegenden Arbeit wurden die Prüfkörper in 2,5 ml deionisiertem Wasser aufbewahrt. So war es möglich, die Fluoridkonzentration nach Zugabe von TISAB II direkt in dem Probenröhrchen zu messen.

In der vorliegenden Arbeit sollte vorrangig untersucht werden, ob die Fluoridfreisetzung durch die PWS-Anwendung verändert werden kann. Daher wurden die Fluoridkonzentrationen in ppm angegeben.

Da die Bestimmung der Fluoridkonzentrationen alle 4 Wochen erfolgte, standen Messergebnisse über den gesamten Versuchszeitraum zur Verfügung. Die statistische Auswertung wurde jedoch auf die Fluoridfreisetzung zwischen der 17. und 20. Versuchswoche begrenzt. Diese Ergebnisse beschreiben die Langzeitfluoridfreisetzung und deren mögliche Beeinflussbarkeit durch die Oberflächenbearbeitung. Da bereits von verschiedenen Autoren^{28, 60, 105, 138, 139, 158} gezeigt werden konnte, dass die freigesetzte Fluoridmenge von Bracketadhäsiven mit

zunehmender Versuchsdauer tendenziell abnimmt, war es von besonderem Interesse, den Einfluss der PWS-Anwendung auf die Fluoridfreisetzung des letzten Messintervalls statistisch auszuwerten. Bereits JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, ENDT⁶⁰ und NEDWED¹⁵⁸ untersuchten den Einfluss der PWS-Anwendung auf die Fluoridfreisetzung verschiedener Bracketadhäsive und wählten ebenfalls das letzte Versuchsintervall (17. bis 20. Woche) für die statistische Auswertung.

Hinsichtlich der Probenanzahl ($n=10$), die zur Berechnung einer durchschnittlichen Fluoridkonzentration diente, orientierte sich die vorliegende Arbeit an den Untersuchungen von JOST-BRINKMANN¹⁰⁵ und ENDT⁶⁰. Aus den Ergebnissen der Autoren geht hervor, dass diese Probenanzahl zu verwertbaren Daten führt.

6.3.4 Diskussion der statistischen Methoden

Die statistische Auswertung wurde auf die Fluoridfreisetzung zwischen der 17. und 20. Versuchswoche begrenzt (vgl. Kapitel 5.2). Dieses Intervall wurde ausgewählt, um die Frage beantworten zu können, ob eine regelmäßige Oberflächenbearbeitung einen Einfluss auf die Langzeitfluoridfreisetzung der untersuchten Bracketadhäsive hat.

Für die statistische Auswertung der Messergebnisse wurde die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) gewählt. Mit der einfaktoriellen ANOVA wurden signifikante Unterschiede der Fluoridfreisetzungen innerhalb eines Materials in Abhängigkeit von der PWS-Anwendung (verschiedene Reinigungspulver in Kombination mit unterschiedlichen Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei wechselnder Geräteeinstellung) ausgewertet. Dieses Verfahren setzt eine Normalverteilung der Daten voraus²⁶ und ist robust genug um auch bei nicht durchgängiger Varianzhomogenität angewandt zu werden⁶². Mit dem Test nach Kolmogorov-Smirnov wurden die Daten im Vorfeld auf Normalverteilung geprüft. Der Levene-Test ergab, dass keine durchgängige Varianzhomogenität bestand. Der sich anschließende Post-hoc-Test Tamhane- T_2 zeigte, ob die Nullhypothese, dass zwischen den Gruppen keine Unterschiede bestanden, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $< 5\%$ verworfen werden musste. Da keine multiple Testung durchgeführt wurde, musste keine α -Adjustierung vorgenommen werden.

Um die Materialien als zusätzliche Einflussgröße zu prüfen und um eine differenzierte Aussage über die einzelnen Einflussparameter (Pulver-Wasser-Strahlgeräte, Reinigungspulver, Geräteeinstellungen) treffen zu können, hätte die mehrfaktorielle ANOVA angewandt werden müssen. Es bleibt allerdings anzumerken, dass in der vorliegenden Arbeit vorrangig untersucht werden sollte, ob die PWS-Anwendung die Fluoridfreisetzung verändert. Daher kam die einfaktorielle Varianzanalyse zum Einsatz.

Alternativ zur angewandten einfaktoriellen Varianzanalyse wäre auch ein nicht parametrisches Verfahren denkbar gewesen. Da die Teststärke (power) dieser Verfahren jedoch im Vergleich zu parametrischen Verfahren geringer ist ²¹⁰, wurde die ANOVA zur statistischen Auswertung gewählt.

6.4 Diskussion der Ergebnisse

6.4.1 Fluoridfreisetzung unterschiedlicher Adhäsive

Dass fluoridhaltige Adhäsive prinzipiell im Stande sind, über lange Zeit Fluorid in kleinen Mengen abzugeben, konnte bereits in zahlreichen Studien gezeigt werden ^{28, 60, 105, 139, 158, 199, 206, 211, 246}. Dies trifft ebenfalls auf die in dieser Studie untersuchten Materialien mit Fluoridzusatz zu. Verschiedene Autoren haben beschrieben, dass die größte Fluoridmenge in den ersten 24 Stunden freigesetzt wird ^{60, 105, 139, 158, 199, 206, 211, 246}. Da die Fluoridbestimmungen in dieser Studie in einem gleichmäßigen Zeitintervall stattfanden, ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Fluoridmenge des ersten Messintervalls aus diesem initialen Maximum stammte. MCNEILL et al. ¹³⁹ stellten fest, dass die beiden Komposite Assure (mit Polysäuren modifiziert) und Python (modifiziertes BisGMA System: Präpolymerisate bestehend aus Glaspartikeln und Acryl-Monomer) innerhalb der ersten 24 Stunden etwa die 6-fache Fluoridmenge freisetzen wie in den darauf folgenden 6 Tagen.

In der vorliegenden Studie war die Fluoridfreisetzung von Transbond PLUS Color Change Adhesive mit Abstand am höchsten, gefolgt von Beauty Ortho Bond, Phase II, Light Bond, BonaBond plus LC und ConTec LC. Besonders für Transbond PLUS Color Change Adhesive, Beauty Ortho Bond, Phase II und Light Bond zeigte sich ein starker Abfall der Fluoridfreisetzungen mit der Versuchsdauer. Transbond PLUS Color Change Adhesive und Beauty Ortho Bond besaßen jedoch trotz der

über die Zeit tendenziell abnehmenden Fluoridfreisetzungen deutlich höhere Fluoridkonzentrationen im Eluat als die übrigen Adhäsive. Bei Transbond PLUS Color Change Adhesive handelt es sich um ein Komposit mit kompomerähnlichen Füllstoffen (35-45 Gew.-%) ¹³³. Gesteigerte Fluoridfreisetzungs-Eigenschaften von Kompomeren gegenüber Kompositen konnten auch von CACCIAFESTA et al. ²⁸ sowie NEDWED ¹⁵⁸ beobachtet werden. Im Giomer Beauty Ortho Bond befindet sich Fluorid in Form von Aluminofluoroborosilikat-Glas (55-70 Gew.-%) ²¹⁹. Beauty Ortho Bond besitzt zwar einen höheren gewichtsprozentualen Anteil an Füllstoffen, die jedoch eine kleinere Teilchengröße (0,8 µm) ²²⁰ als die von Transbond PLUS Color Change Adhesive (< 80 µm) ¹³² besitzen. Erstaunlicherweise werden aus den größeren Füllstoffpartikeln von Transbond PLUS Color Change Adhesive trotz des geringeren gewichtsprozentualen Anteils höhere Fluoridmengen freigesetzt. Die übrigen untersuchten Materialien (ConTec LC, Phase II, Light Bond, BonaBond plus LC) enthalten Natriumfluorid (< 1 Gew.-%) ^{20, 43, 201, 203}. Die Abweichungen in den Fluoridanteilen zwischen den untersuchten Adhäsiven dürften eine Erklärung für die beträchtlichen Unterschiede ihrer Fluoridfreisetzungen sein. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass es bei Transbond PLUS Color Change Adhesive zu einer für Kompomere typischen wasserabhängigen sekundären Säure-Base-Reaktion kommt. Laut REISBICH ¹⁹⁹ kommt es zu einer Volumenzunahme von Kompomeren während der 8. bis 12. Lagerungswoche in Aqua bidestillata, die eine langfristige Fluoridabgabe bewirken soll. DAVIES et al. ³⁹ konnten zeigen, dass Kompomere bei sechsmonatiger Wasserlagerung Flüssigkeitsabsorptionen aufwiesen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass eine Wasseranreicherung in Transbond PLUS Color Change Adhesive im ausgewerteten Versuchszeitraum (17. bis 20. Woche) bestand, die eine höhere Fluoridfreisetzung begünstigte. Da es sich bei Kompomeren definitionsgemäß um eine Mischung aus Komposit und Ionomer handelt ¹²¹, soll an dieser Stelle der glasionomerzementgeprägte Fluoridakku erwähnt werden. Dieser zeichnet sich dadurch aus, dass bei sinkendem pH-Wert Fluoridionen freigesetzt ^{68, 77, 169} und diese bei deren Zufuhr wieder aufgenommen werden, um erneut abgegeben zu werden ^{67, 68, 77, 227}. Über diese beiden Effekte und den Einfluss der PWS-Bestrahlung auf diese Fluoridionen kann mit dem hier gewählten Studiendesign keine Aussage getroffen werden.

Das Giomer Beauty Ortho Bond ist dadurch charakterisiert, dass dessen Füllkörper eine PRG-Beschichtung (pre-reacted glass-ionomer) aufweisen. Durch diese

Beschichtung sind Giomere in vergleichbarem Maße wie Glasionomerezemente in der Lage, Fluoridionen an das umgebende Milieu abzugeben und wieder aufzunehmen^{48, 102}.

Die untersuchten natriumfluoridhaltigen Materialien (ConTec LC, Phase II, Light Bond, BonaBond plus LC) zeigten in der unbestrahlten Referenzgruppe nach einer hohen initialen Fluoridfreisetzung eine starke Abnahme im 2. bis 5. Messintervall. Als mögliche Erklärung kommt eine von MIETHKE und NEWSELY¹⁴⁸ beschriebene Beobachtung in Frage. Die Autoren konnten zeigen, dass Natriumfluorid bedingt durch seine hohe Löslichkeit rasch freigesetzt wird. Besonders im Vergleich mit Kalziumfluorid wird ein bestehendes Natriumfluoriddepot sehr viel schneller aufgebraucht¹⁴⁸. Dies erklärt den starken Rückgang der Fluoridfreisetzungen für die unbestrahlten Proben durch ein rasches Ausschwämmen der Fluoride aus den oberflächlichen Schichten.

Die Auswirkungen unterschiedlicher materialspezifischer Eigenschaften der untersuchten Adhäsive zeigten sich nicht nur in den starken Abweichungen der Fluoridfreisetzungen im letzten Messintervall, sondern über den Gesamtversuchszeitraum hinweg. Wie bereits in einer Vielzahl an Studien gezeigt werden konnte, bestanden auch in dieser Untersuchung deutliche quantitative Unterschiede in den Fluoridfreisetzungen zwischen den einzelnen Materialien^{28, 60, 105, 139, 158, 199, 206, 211, 246}. Die vier mit Natriumfluorid angereicherten Adhäsive (ConTec LC, Phase II, Light Bond, BonaBond plus LC) zeigten über den Gesamtversuchszeitraum deutlich geringere Fluoridfreisetzungen als das Giomer Beauty Ortho Bond und Transbond PLUS Color Change Adhesive (kompomerähnliche Füllstoffe). Auch diese Beobachtung steht im Einklang mit Ergebnissen anderer Autoren^{28, 48, 102, 158}. Es zeigte sich für jedes Adhäsiv ein individueller Freisetzungsverlauf über den Gesamtversuchszeitraum, wobei trotz der quantitativen Unterschiede gewisse Ähnlichkeiten im Verlauf zu beobachten waren. So zeigten Transbond PLUS Color Change Adhesive, Light Bond und Phase II im ersten Messintervall verglichen mit dem zweiten Messintervall deutlich höhere Fluoridfreisetzungen. Besonders die Natriumfluoriddepots von Light Bond und Phase II schienen ab dem zweiten Messintervall schon deutlich aufgebraucht zu sein. Daher lagen die

Fluoridfreisetzungen weit unter denen des ersten Messintervalls, die zum Großteil aus dem initialen Maximum stammten. Für Light Bond betrug die Fluoridfreisetzung im 2. Messintervall nur noch etwa $\frac{1}{4}$ der Freisetzungen des ersten Messintervalls. Für Phase II war es zum 2. Messintervall nur noch etwa $\frac{1}{10}$ der Freisetzungen des ersten Intervalls. Auch für Transbond PLUS Color Change Adhesive zeigten sich deutlich geringere Fluoridfreisetzungen im 2. Messintervall, sie betrug etwa die Hälfte der Freisetzungen des 1. Intervalls. Nach diesem starken Abfall der Fluoridfreisetzungen bewegten sich die Freisetzungen von Transbond PLUS Color Change Adhesive, Light Bond und Phase II in den übrigen Intervallen etwa auf dem jeweiligen Niveau des 2. Messintervalls. In den eigenen Untersuchungsergebnissen fanden sich allerdings auch Beispiele für kontinuierlichere Fluoridfreisetzungen über die verschiedenen Messintervalle, die durch die PWS-Anwendungen begünstigt wurden. Bei Beauty Ortho Bond, ConTec LC und teilweise auch bei BonaBond plus LC konnte durch die Oberflächenbearbeitung ein derartig starker Abfall der Fluoridfreisetzung verhindert werden. Dass durch die PWS-Anwendung eine Steigerung der Fluoridfreisetzung erreicht werden kann, konnte nicht nur im letzten Messintervall beobachtet werden, sondern war auch in den übrigen Intervallen festzustellen. Die quantitativen Unterschiede in den Fluoridfreisetzungen zwischen den sich in materialspezifischer Hinsicht unterscheidenden Adhäsiven konnten durch die PWS-Anwendungen nicht ausgeglichen werden. Zu dieser Schlussfolgerung kamen bereits JOST-BRINKMANN¹⁰⁵, NEDWED¹⁵⁸ und ENDT⁶⁰.

Da die einzelnen Messwerte zur Berechnung der mittelwertigen Fluoridkonzentrationen im letzten Messintervall (bis auf vier Messserien) innerhalb des Bereiches Mittelwert ± 2 Standardabweichungen lagen, konnte davon ausgegangen werden, dass die Messergebnisse in dem Bereich (Mittelwert ± 2 Standardabweichungen) reproduzierbar waren. Für vier Messserien lagen die einzelnen Messwerte im Bereich Mittelwert ± 3 Standardabweichungen und waren daher in diesem Bereich reproduzierbar (Tab. 9 bis 14 im Anhang, Kapitel 9.2).

6.4.2 Fluoridfreisetzung unter dem Einfluss verschiedener Reinigungspulver

In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass eine Oberflächenbearbeitung mit Natriumbikarbonat als Reinigungspulver zu Aufrauungen und Abrasionen führt^{57, 61, 100, 106, 130, 158, 178}. Für die Steigerung der Fluoridfreisetzung kommen daher zwei Mechanismen in Betracht¹⁰⁵:

1. Durch die Bearbeitung kommt es zur Aufrauung und Vergrößerung der Oberfläche.
2. Durch die Bestrahlung werden oberflächliche, an Fluorid verarmte Bereiche entfernt. Dadurch können wieder mehr Fluoridionen aus fluoridhaltigeren Schichten abgegeben werden.

NEDWED¹⁵⁸ untersuchte neben der Fluoridfreisetzung auch die Oberflächenveränderungen durch PWS-Anwendung und fand einen Zusammenhang zwischen Oberflächenbearbeitung, Zunahme der Rauheit und einem Anstieg der Fluoridfreisetzung bei Komposit-basierten Materialien. Die Bestrahlung mit Natriumbikarbonat von viermal 2 Sekunden führte (unabhängig von der Geräteeinstellung) bei den untersuchten Materialien (Komposite, Kompomere, Glasionomerzemente und kunststoffmodifizierte Glasionomerzemente) zu einer signifikanten Erhöhung der Oberflächenrauheit verglichen mit der unbestrahlten Kontrolle. Unter den Stoffklassen waren Unterschiede hinsichtlich der Rauheit zu erkennen. Komposite und Kompomere zeigten im Vergleich zu kunststoffmodifizierten Glasionomerzementen eine eher geringe Erhöhung der Rauheit. Für Komposite (Excel, Phase II, BonaBond plus protect) und Kompomere (Dyract AP, Compoglass Flow) konnte nach einer Oberflächenbearbeitung für 8 s ein Substanzabtrag von 46-65 µm festgestellt werden (PROPHYflex 2, Abstand: 5 ± 0,5 mm, Winkel: 90°, Einstellung: maximal Wasser). Trotz eines ähnlichen Substanzabtrages bei allen untersuchten Materialien führte die Oberflächenbearbeitung nur bei den untersuchten Kompositen zu signifikanten Steigerungen der Fluoridfreisetzungen.

Neben dieser stoffklassenabhängigen Wirkung¹⁵⁸ der PWS-Anwendung stellten verschiedene Autoren^{61, 178, 179, 243, 253} zudem fest, dass sich unterschiedliche Reinigungspulver (Natriumbikarbonat, Kalziumkarbonat, Glycin) hinsichtlich ihrer abrasiven Wirkung unterscheiden. Die Autoren kamen unabhängig voneinander zu dem Ergebnis, dass Pulver auf Karbonatbasis stärker abrasiv wirken als jene auf

Glycinbasis^{61, 178, 179, 253}. Die unterschiedliche Abrasivität wurde gegenüber Wurzelentin¹⁷⁹, restaurativen Materialien¹⁷⁸, Oberflächenversiegeln⁶¹ und eines künstlichen Zahnbelages²⁵³ untersucht.

PELKA et al.¹⁷⁸ untersuchten die Wirkung unterschiedlicher Strahlmittel (Acclean Air Preventive Powder [Natriumbikarbonat], Air-Flow Prophylaxis Powder [Natriumbikarbonat], ClinPro Prophy Powder [Glycin]) auf 6 restaurative Materialien (Tetric EvoCeram, Tetric Flow, Grandio Flow, Admira Seal, Grandio Seal, Ionofil Molar AC/Quick) hinsichtlich der Defekttiefen und -volumina (Abstand: 5 mm, Bestrahlungszeit: 10 s, Winkel: 10°, Gerät: Prophyflex 3 [KaVo]). Die profilometrische Untersuchung zeigte, dass ClinPro Prophy Powder die geringsten Defekttiefen und -volumina zur Folge hatte.

Einen weiteren Vergleich zur Abrasivität von Natriumbikarbonat und Glycin führten ENGEL et al.⁶¹ durch. Diese Arbeitsgruppe untersuchte die abrasiven Eigenschaften der unterschiedlichen Reinigungspulver gegenüber 3 verschiedenen Oberflächenversiegeln. Die Glattflächenversiegler (Pro Seal, OrthoSolo, Seal&Protect) wurden auf extrahierte Zähne aufgetragen. Danach wurden die Oberflächen für 5 s beziehungsweise 10 s mit einem Strahlmittel auf der Basis von Natriumbikarbonat oder für 10 s mit einem Glycin-basierten Strahlmittel behandelt (Gerät: Air-Flow S1/EMS, Abstand: 5 mm). Nach Behandlung mit Natriumbikarbonat für 5 s war der Versiegler ausgedünnt und wies Lücken auf. Nach 10 s war der Versiegler nahezu abgetragen. Die Anwendung von Glycin führte zu kleineren Schäden des Oberflächenversieglers, aber auch nach Glycin-Bestrahlung war die Versiegelung nicht mehr intakt.

Eine geringere abrasive Wirkung von Glycin im Vergleich zu Natriumbikarbonat und Kalziumkarbonat konnte auch von WIMMER²⁵³ festgestellt werden. Die Autorin untersuchte drei Reinigungspulver (Air Flow Prophylaxis Powder [Natriumbikarbonat], Clinpro Prophy Powder [Glycin], PROPHYPearls [Kalziumkarbonat]) hinsichtlich ihrer Abrasivität gegenüber einem künstlichen Zahnbelag aus Heliobond [Ivoclar Vivadent] auf Schmelz- beziehungsweise Dentinflächen und konnte ebenfalls zeigen, dass Pulver auf Glycinbasis substanzschonender sind als jene auf Karbonatbasis (Pulver-Wasser-Strahlgerät: PROPHYflex 3, KaVo; Anwendungsdauer: 2 Sekunden, Winkel: 90°, Abstand: 5 Millimeter)²⁵³.

Allerdings gibt es unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich der abrasiven Wirkung von Natriumbikarbonat und Kalziumkarbonat^{41, 179, 243, 253}. So konnte WIMMER²⁵³ in der benannten Untersuchung feststellen, dass Kalziumkarbonat auf künstlichem Zahnbelag (Dicke: 0,5 mm) stärkere Abrasionsflächen verursacht als Natriumbikarbonat.

Zumindest etwa vergleichbare Defekttiefen und -volumina nach Verwendung von Kalziumkarbonat und Natriumbikarbonat auf Wurzeldentin konnten von PELKA et al.¹⁷⁹ festgestellt werden. Diese Arbeitsgruppe verglich die abrasive Wirkung vier unterschiedlicher Reinigungspulver (Airflow powder, Cleaning powder [Natriumbikarbonat], ClinPro powder [Glycin], ProphyPearls [Kalziumkarbonat]) auf Wurzeldentin in vitro. Die abrasive Wirkung der karbonathaltigen Pulver war wie bei WIMMER²⁵³ größer als die von Glycin (Pulver-Wasser-Strahlgeräte: Prophyflex 3 [KaVo] und EMS Handy [EMS]; Anwendungsdauer: 5, 10 und 20 s; Winkel: 90°; Abstand: 3 mm).

Hingegen wird die Anwendung von Kalziumkarbonat auf Schmelz- und Dentinflächen von zwei Arbeitsgruppen^{41, 243} besonders empfohlen und sogar für Schmelzflächen gegenüber Natriumbikarbonat favorisiert⁴¹. Leider werden in beiden Publikationen keine Angaben über das Ausmaß der Substanzverluste gemacht. Vor dem Hintergrund der angeführten Studien zur hohen Abrasivität von Kalziumkarbonat^{179, 253} und den eigenen Versuchsergebnissen, muss die Anwendung von Kalziumkarbonat kritisch hinterfragt werden.

Interessanterweise kam es in der vorliegenden Studie bei zwei Bearbeitungsvarianten zu einer deutlichen Steigerung der Fluoridfreisetzung verglichen mit der unbestrahlten Referenzgruppe und bezüglich der übrigen Bearbeitungsvarianten (Ausnahme: Transbond PLUS Color Change Adhesive). Bei beiden Varianten wurde Kalziumkarbonat als Strahlmittel verwendet (Prophy-Mate neo, easyjet pro; Einstellung: ohne Wasserzufuhr). Daher kann die Hypothese, dass durch Kalziumkarbonat als Strahlmittel höhere Fluoridfreisetzungen erreicht werden können, als bei Verwendung von Glycin oder Natriumbikarbonat für diese beiden Bearbeitungsvarianten, belegt werden (Ausnahme: Transbond PLUS Color Change Adhesive). Die Erklärung liegt vermutlich in der unterschiedlichen Abrasivität der Reinigungspulver^{179, 253}.

Gründe für die unterschiedlichen abrasiven Eigenschaften der Reinigungspulver finden sich in der Form, Härte und Größe der Pulverkörner²⁵³. Bei Pulvern auf Natriumbikarbonatbasis unterscheiden sich die einzelnen Pulverkörner stark in Größe und Form^{143, 174, 253}. Bei dem in der vorliegenden Studie verwendeten Natriumbikarbonatpulver sind die Pulverpartikel laut Hersteller kleiner als 150 µm¹⁴³. Bei dem von WIMMER²⁵³ untersuchten Air Flow Prophylaxis Powder [Natriumbikarbonat] zeigten einzelne Partikel eine Größe von bis zu 200 µm. Bei vergleichbaren Produkten eines anderen Herstellers werden Partikelgrößen zwischen 50 µm und 60 µm angegeben (Omniflow)¹⁷⁴ und entsprechen damit der Größe von Pulvern auf Glycinbasis^{131, 174, 180, 253}. Das in der vorliegenden Untersuchung verwendete Glycinpulver hat eine maximale Partikelgröße von 63 µm¹⁸⁰. Die Pulverpartikel besitzen eine längliche Form und haben eine homogene Oberfläche²⁵³. Mittlerweile wird laut Hersteller auch ein Glycinpulver produziert (Omniflow Perio pro), das eine Partikelgröße von circa 25 µm besitzt¹⁷⁴. Pulver auf Kalziumkarbonatbasis zeichnen sich durch ihre sphärische Partikelform aus. Einige Pulverkörner besitzen einen Durchmesser von 80 µm. Die Oberfläche wird als uneben und rau beschrieben²⁵³. Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Kalziumkarbonatpulver besitzt eine Partikelgröße von 30 µm bis 45 µm¹⁶³. Die starken Abweichungen der Partikelgrößen deuten darauf hin, dass individuelle Herstellungs- und Zerkleinerungsprozesse (Mahlen, Sieben) zu unterschiedlichen Größen führen^{143, 163, 174, 253}, möglicherweise um damit die Abrasivität zu modifizieren. Dies steht im Einklang mit Erkenntnissen aus der Technik zu Strahlmitteln. Diese besagen, dass die Form, Größe, Härte und Dichte der Abrasivstoffpartikel ihre Eigenschaften bestimmen¹⁵⁴. Da in der vorliegenden Untersuchung die PWS-Anwendung mit dem Pulver der geringsten Partikelgröße die höchsten Fluoridfreisetzungen zur Folge hatte, scheinen die Partikelform und -härte einen größeren Einfluss auf den abrasiven Charakter eines Pulvers zu haben als die Partikelgröße.

Für Glycin¹³¹ und Natriumbikarbonat¹⁴² muss zusätzlich noch die Wasserlöslichkeit berücksichtigt werden, die bewirkt, dass es bei der PWS-Anwendung mit Wasserzufuhr zu Veränderungen an den Pulverpartikeln kommen kann. Aus den vorliegenden Messergebnissen ist nicht ersichtlich, welchen Einfluss die Wasserlöslichkeit der beiden Pulver auf die Fluoridfreisetzung hat.

Neben den spezifischen Eigenschaften der einzelnen Pulverkörner sind es die Oberflächen der Adhäsive, die die Wirkung der PWS-Anwendung mitbestimmen. Eine PWS-Anwendung kann zur Aufrauung und Vergrößerung der Oberfläche führen¹⁰⁵. Auch ein Abtragen von an Fluorid verarmten Schichten ist bei entsprechender Abrasivität denkbar. Dadurch könnten tieferliegende Schichten erreicht werden, in denen noch Fluoriddepots bestehen.

In der vorliegenden Untersuchung war für Phase II nach der Verwendung von Kalziumkarbonat die stärkste relative Erhöhung der Fluoridfreisetzung mit einem Anstieg gegenüber der Referenzgruppe um mehr als 1000 % zu beobachten (easyjet pro + FLASH pearl, Geräteeinstellung: ohne Wasserzufuhr). Auch bei ENDT⁶⁰ wurde im letzten Messintervall die stärkste relative Erhöhung der Fluoridfreisetzung für Phase II nach Oberflächenbestrahlung festgestellt, allerdings nach der Anwendung von Natriumbikarbonat. Nach der Oberflächenbearbeitung mit Natriumbikarbonat konnten von ihm Anstiege der Fluoridkonzentrationen um den Faktor 4 bis 7 festgestellt werden. In der vorliegenden Untersuchung wurde bei Verwendung von Natriumbikarbonat eine Steigerung der Fluoridfreisetzung für Phase II um den Faktor 3 erzielt. Es bleibt aber noch anzumerken, dass in der vorliegenden Arbeit im Vergleich zu ENDT⁶⁰ neben anderen Pulver-Wasser-Strahlgeräten ein abweichendes Studiendesign (Reinigungspulver, Bestrahlungswinkel) gewählt wurde, was einen aussagekräftigen 1:1 Vergleich der Ergebnisse verhindert. ENDT⁶⁰ wählte zudem das doppelte Lagerungsvolumen wie in der vorliegenden Arbeit.

NEDWED¹⁵⁸ untersuchte ebenfalls die Fluoridfreisetzung von Phase II nach Oberflächenbearbeitung mit Natriumbikarbonat. Im letzten Messintervall konnte eine 6- bis 7-fache Steigerung der Fluoridkonzentration nach Bestrahlung der Oberfläche beobachtet werden. Auch bei diesem Vergleich muss auf die Abweichungen im Studiendesign (Reinigungspulver, Lagerungsvolumen, anderes Pulver-Wasser-Strahlgerät) verwiesen werden. Da in den beiden Untersuchungen^{60, 158} nicht die Fluoridfreisetzung als Fluoridmenge pro Quadratzentimeter Prüfkörperoberfläche pro Milliliter Probenvolumen ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ pro ml Aufbewahrungslösung), sondern die Fluoridkonzentration (ppm) bestimmt wurde, erschweren die unterschiedlichen Lagerungsvolumina einen Vergleich der Ergebnisse¹⁰⁵.

Als ENDT⁶⁰ und NEDWED¹⁵⁸ die Fluoridfreisetzung von Phase II untersuchten, enthielt Phase II zu einem Gewichtsprozent Fluorwasserstoff. In der vorliegenden Studie enthielt Phase II zu einem Gewichtsprozent Natriumfluorid²⁰³. Daraus wird ersichtlich, dass neben den Abweichungen im Studiendesign auch Modifikationen in der Zusammensetzung der untersuchten Materialien für die nur bedingte Vergleichbarkeit der Ergebnisse verantwortlich sein können.

6.4.3 Fluoridfreisetzung unter dem Einfluss unterschiedlicher Geräte und Einstellungen

Vergleicht man die Wirkung beider Pulver-Wasser-Strahlgeräte hinsichtlich der Verteilung von signifikanten Steigerungen der Fluoridkonzentrationen gegenüber den unbestrahlten Referenzgruppen, so wurden bei Betrachtung aller Adhäsive und Bearbeitungsvarianten signifikante Steigerungen zwischen Prophy-Mate neo und easyjet pro im Verhältnis 4:3 beobachtet. Als Ursachen kommen Abweichungen im Pulverausstoß¹⁸⁶ beziehungsweise im Pulver-Wasser-Verhältnis bei Verwendung verschiedener PWS-Geräte mit wechselnder Geräteeinstellung in Frage¹⁰⁵. Zudem scheinen die Form des Spraykegels und die vom Luftdruck abhängige Geschwindigkeit der Pulverpartikel einen Einfluss auf die Abrasivität des Spraystrahls zu besitzen^{105, 153, 179}.

Zwar konnten in der vorliegenden Untersuchung durch zwei Bearbeitungsvarianten deutliche Steigerungen der Fluoridfreisetzungen erreicht werden (Ausnahme: Transbond PLUS Color Change Adhesive), jedoch wurde dazu die Oberflächenbearbeitung ohne Wasserzufuhr betrieben. Allerdings warnen Richtlinien zum Gebrauch der PWS-Technik vor Anwendungen ohne Wasserzufuhr oder zu geringer Wasserzufuhr^{58, 131}. Das zugeführte Wasser umhüllt den Luft-Pulverstrahl und reduziert damit die Staubbildung⁵⁸. Zudem gibt es Aufforderungen zum Anlegen von Kofferdam für die PWS-Behandlung⁵⁸. Damit sollen Irritationen der Gingiva und ein Eindringen des Luft-Wasser-Pulverstrahls in den Sulcus verhindert werden⁵⁸. Besonders die direkte Applikation des Strahls in parodontale Taschen kann zur Bildung von Emphysemen führen^{131, 183}. Der angelegte Kofferdam schränkt zudem die Möglichkeit, Reinigungspulver zu aspirieren, stark ein⁵⁸. Gerade bei Kalziumkarbonat (nicht wasserlöslich) muss die abschirmende Wirkung von Kofferdam

positiv bewertet werden ¹⁵⁹. Die Staubbelastung kann zwar durch optimale Absaugung, Wasserbeimischung und Kofferdam reduziert werden, jedoch ist sie gleichwohl noch so umfangreich, dass Patienten, die unter chronischer Bronchitis oder Asthma leiden, nicht mit PWS-Geräten behandelt werden dürfen ^{58, 131}.

In der vorliegenden Studie kann die Hypothese, dass durch die Geräteeinstellung ohne Wasserzufuhr allgemein höhere Fluoridfreisetzungen als in der Einstellung mit Wasserzufuhr erreicht werden, nicht belegt werden. Allerdings konnte die höchste relative und absolute Steigerung der Fluoridfreisetzung in der Geräteeinstellung ohne Wasserzufuhr erreicht werden.

NEDWED ¹⁵⁸ wählte drei verschiedene Geräteeinstellungen (maximale, mittlere und minimale Wasserzufuhr) für die PWS-Anwendung. Die Oberflächenbearbeitung hatte wie in der vorliegenden Arbeit keinen einheitlichen Einfluss auf die Fluoridfreisetzung (PROPHYflex 2 mit Natriumbikarbonat als Reinigungspulver, Abstand: $5 \pm 0,5$ mm, Winkel: 90° , Bestrahlungsdauer: 8 s).

PETERSILKA et al. ^{184, 185} untersuchten verschiedene Einstellungsparameter (Bestrahlungsdauer, Abstand, Winkel, Pulver- und Wassermenge) von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf den Substanzabtrag von Wurzeloberflächen. Sie konnten zwar zeigen, dass eine Bestrahlungsdauer von 20 Sekunden mit Natriumbikarbonat in der Geräteeinstellung maximal Pulver und minimal Wasser etwa 50 % weniger Substanzverluste zur Folge hatte als die Geräteeinstellung maximal Pulver und maximal Wasser ¹⁸⁵, allerdings unterschieden sich die beiden Geräteeinstellungen (maximal Pulver mit minimal Wasser, maximal Pulver mit maximal Wasser) hinsichtlich der Substanzverluste bei Verwendung eines niedrig abrasiven Reinigungspulvers in Abhängigkeit von der gewählten Bestrahlungsdistanz ¹⁸⁴. Demnach kann auch aus diesen beiden Untersuchungen ^{184, 185} keine allgemein gültige Schlussfolgerung bezüglich der Geräteeinstellung abgeleitet werden.

Es kann aber festgehalten werden, dass auf der Grundlage dieser beiden Untersuchungen ^{184, 185} Glycin bei gleicher Geräteeinstellung und Bestrahlungsdauer deutlich geringere Substanzverluste auf Wurzeloberflächen zur Folge hat als Natriumbikarbonat. Hinsichtlich der Plaquebeseitigung war Glycin ebenso gründlich wie Natriumbikarbonat und benötigte dazu die gleiche Anwendungsdauer ¹⁸⁴. Aufgrund seiner geringen abrasiven Eigenschaften ^{61, 131, 178, 179, 253} geht der

Hersteller davon aus, dass Glycin auch bei längerer Anwendungsdauer nicht in der Lage ist, Zahnstein und Konkremente zu entfernen¹³¹.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass unter In-vivo-Bedingungen von einer PWS-Anwendung ohne Wasserzufuhr abzuraten ist, da vor dem Hintergrund der eigenen Untersuchungsergebnisse besonders Kalziumkarbonat in dieser Geräteeinstellung starke abrasive Wirkungen erzeugt. Dies steht im Einklang mit den Richtlinien zur Anwendung der PWS-Technik^{58, 131}. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass die Anwendung verschiedener Reinigungspulver auf entsprechende Indikationsbereiche abzustimmen ist^{131, 159, 184, 185}.

6.5 Klinische Konsequenzen für die PWS-Anwendung

Um eine Abschätzung über die kariespräventive Wirksamkeit der hier ermittelten Fluoridkonzentrationen treffen zu können, muss eine Abschätzung der Fluoridabgabe bezogen auf die Probenoberfläche erfolgen.

Der Berechnung lagen folgende Überlegungen zu Grunde:

$$\text{ppm Fluorid} = \text{mg Fluorid} / \text{l Lösung} = \mu\text{g Fluorid} / \text{ml Lösung}$$

Die Menge der abgegebenen μg Fluorid pro ml Lösung (ppm) wird nun durch die Probenoberfläche dividiert. Die Innenfläche eines Delrin-Ringes beträgt bei einem Innendurchmesser von 7 Millimeter $38,48 \text{ mm}^2$ ($\pi \times (3,5 \text{ mm})^2 = 38,48 \text{ mm}^2$). Vorder- und Rückfläche ergeben zusammen $0,77 \text{ cm}^2$. Das Volumen der Aufbewahrungslösung betrug $2,5 \text{ ml}$ deionisiertes Wasser und zusätzlich wurden dieser Lösung noch $2,5 \text{ ml}$ TISAB zugegeben, so dass das Gesamtvolumen 5 ml betrug. Dieser Faktor musste in der Berechnung berücksichtigt werden.

Pro cm^2 Probenoberfläche ergibt sich:

$$\text{Fluoridfreisetzung } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) = \frac{\text{gemessene Konzentration in ppm} \times 5 \text{ ml}}{\text{Probenoberfläche von } 0,77 \text{ cm}^2}$$

Verschiedene Autoren^{36, 138, 139} bewerteten ihre Messergebnisse hinsichtlich ihrer kariesprotektiven In-vivo-Wirksamkeit an der von RAWLS¹⁹⁷ angegebenen

Fluoridfreisetzung von 0,65 - 1,3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ pro Tag. Alternativ dazu orientierten sich CACCIAFESTA et al.²⁸ an der von DUBROC und Mitarbeitern⁵³ postulierten Fluoridfreisetzung von 0,5 bis 1,0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ pro Tag. Damit konnten in einer In-vivo-Studie an Ratten nach einer Versuchsdauer von 38 Tagen etwa ein Drittel weniger White-Spot-Läsionen beobachtet werden⁵³. CACCIAFESTA et al.²⁸ untersuchten die Fluoridfreisetzung verschiedener orthodontischer Befestigungsmaterialien und stellten fest, dass nur Fuji Ortho Band Paste Pak (Glasionomerzement zur Bandbefestigung) und Fuji Ortho LC (kunststoffmodifizierter Glasionomerzement) eine White-Spot-Läsionen reduzierende Wirkung erwarten lassen.

Projiziert man diese Freisetzungsgrenze (Fluoridfreisetzung von 0,5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ am Tag) auf die vorliegende Arbeit, so hätte die tägliche Freisetzung 0,08 ppm betragen müssen. Bei einem Messintervall von 28 Tagen entspricht dies einer Freisetzung von 2,24 ppm. Im ersten Messintervall konnte diese Grenze von Beauty Ortho Bond, Transbond PLUS Color Change Adhesive, Phase II und Light Bond erreicht werden. In den darauf folgenden drei Messintervallen konnte nur Transbond PLUS Color Change Adhesive diese Grenze in Abhängigkeit von der Bearbeitungsvariante erreichen. Im letzten Messintervall erreichte keines der untersuchten Materialien eine Fluoridfreisetzung von 2,24 ppm. Demnach hätte bei dieser Freisetzungsgrenze keines der untersuchten Materialien im letzten Messintervall einen kariesprotektiven Effekt. Auch die beiden mit modifizierten Füllstoffen ausgestatteten Adhäsive Transbond PLUS Color Change Adhäsive¹³³ und Beauty Ortho Bond^{48, 102} waren nach dieser Versuchsdauer nicht mehr in der Lage, hohe Fluoridmengen aus dem Fluoridakku freizusetzen, da diesem über den Gesamtversuchszeitraum kein Fluorid von extern zugeführt wurde.

Die potentielle kariesprotektive Wirkung beschränkt sich jedoch nur auf das Bracketumfeld^{37, 168}. Wobei erst ein möglichst enger Kontakt zwischen dem Fluoridreservoir und der Schmelzoberfläche einen kariespräventiven Effekt möglich macht^{35, 172, 213}. Damit kann eine kariesprotektive Kalziumfluorid-Deckschicht ausgebildet werden^{52, 55, 63, 166, 258}. Der antibakterielle Effekt der Fluoride auf karies-ätiologisch bedeutsame Mikroorganismen muss trotz der vielfältigen Wirkungsmechanismen^{86, 87, 232} als gering eingeschätzt werden²⁵⁸. Um das Wachstum oraler Streptokokken zu inhibieren, sind Konzentrationen zwischen 100 und 200 ppm Natriumfluorid in der Plaque erforderlich. So hohe Konzentrationen sind unter In-vivo-

Bedingungen nicht zu erwarten²⁵⁸. Allerdings konnte durch die mindestens zweimal jährliche Anwendung von Duraphat (23.000 ppm) bei Kindern mit hohem Kariesrisiko eine effektive Karieshemmung über eine Versuchsdauer von vier Jahren festgestellt werden²⁵⁸. Auch eine wöchentliche Anwendung von elmex gelée (12.500 ppm) bei Kindern mit hohem Kariesrisiko zeigte über einen zweijährigen Versuchszeitraum karieshemmende Wirkung¹²⁶. In beiden Fällen^{126, 258} beruht die kariesprophylaktische Wirkung auf der Ausbildung einer Kalziumfluorid-Deckschicht auf der Schmelzoberfläche, aus der unter kariogenen Bedingungen Fluorid zur Verfügung steht.

Hinsichtlich der untersuchten Bracketadhäsive kann keine allgemein gültige Empfehlung für die PWS-Anwendung zur quantitativen Steigerung der Fluoridfreisetzung ausgesprochen werden. Die Oberflächenbearbeitung führte nur bei Beauty Ortho Bond und BonaBond plus LC in allen untersuchten Varianten zu einer signifikanten Steigerung der Fluoridfreisetzung gegenüber der unbestrahlten Referenzgruppe. Da allerdings Transbond PLUS Color Change Adhesive und Beauty Ortho Bond die höchsten Fluoridfreisetzungen zeigten, würde eine Auswahl unter den untersuchten Bracketadhäsiven zu deren Gunsten ausfallen. Anzumerken bleibt, dass die gemessene Fluoridfreisetzung aus der gesamten Prüfkörperoberfläche stammte. Die Oberflächenbearbeitung beschränkte sich jedoch nur auf eine Probenhälfte. Demnach bleibt zu bedenken, dass sich die Fluoridfreisetzungen der bestrahlten und der unbestrahlten Probenhälften überlagerten. Auch aus der nicht bestrahlten Probenhälfte wurden Fluoride abgegeben, jedoch geringere Mengen als aus der bestrahlten Hälfte. Angesichts der Referenzproben lässt sich theoretisch errechnen, welche Fluoridkonzentrationen bei Bestrahlung der gesamten Prüfkörperoberfläche zu erwarten gewesen wären. So hätte durch ein Bearbeiten der gesamten Prüfkörperoberfläche eine höhere Fluoridkonzentration erreicht werden können. Beispielsweise wären bei Transbond PLUS Color Change Adhesive Fluoridkonzentrationen von 2,4 ppm anstatt 2,03 ppm (Variante 5) oder bei Beauty Ortho Bond 2,33 ppm anstatt 1,43 ppm (Variante 2) möglich gewesen.

Bezogen auf die klinische Anwendung muss angemerkt werden, dass Bracket- und Bandfugen möglichst schmal zu gestalten sind, auch wenn bei einer größeren Oberfläche höhere Fluoridfreisetzungen zu erwarten sind. Da aber diese Fugen

plaqueretentive Nischen darstellen und damit Demineralisationsprozesse begünstigen, müssen diese Bereiche so grazil wie möglich sein^{5, 129, 151}.

Es soll abschließend darauf hingewiesen werden, dass die PWS-Anwendung durch die Aufrauung der Oberfläche zwar zu einer Steigerung der Fluoridfreisetzung führt, jedoch begünstigt dies auch die Plaqueretention. Da Bracketadhäsive allerdings routinemäßig nicht poliert werden und daher eine raue und plaqueretentive Oberfläche besitzen, kann durch die PWS-Oberflächenbearbeitung von fluoridfreisetzenden Bracketadhäsiven zumindest eine kurzzeitige Plaquereduktion und eine gesteigerte Fluoridfreisetzung erreicht werden. Unter diesem Aspekt kann die PWS-Anwendung bei Verwendung geeigneter Adhäsive, PWS-Geräte, Reinigungspulver und Einstellungen als zusätzliche positive kariespräventive Maßnahme bewertet werden, die nicht von der Compliance des Patienten abhängig ist.

7 ZUSAMMENFASSUNGEN

7.1 Zusammenfassung

Fragestellung: In vitro sollte der Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten (PWS) auf die Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven untersucht werden.

Material und Methode: Untersuchte Adhäsive: Tectosan (fluoridfreie Kontrollgruppe) [BonaDent], ConTec LC [Dentaurum], Beauty Ortho Bond [SHOFU], Transbond PLUS Color Change Adhesive [3M Unitek], Light Bond [Reliance Orthodontic Products], Phase II [Reliance Orthodontic Products], BonaBond plus LC [BonaDent]. Pro Material wurden 130 Delrin-Ringe [DuPont] (1,5 mm hoch, 7 mm Innendurchmesser) mit Adhäsiv gefüllt und zwischen Polyethylenfolie [MDS] und Glasscheiben [Becht] unter einer Last von 5 N mit der bluephase 20i [Ivoclar Vivadent] bei 1200 mW/cm² photopolymerisiert (außer Phase II). Die Polymerisation erfolgte von oben und unten im 90° Winkel durch die jeweilige Glasplatte (Abstand zum Prüfkörper 5 bis 6 mm). Die Kompositescheiben wurden in 2,5 ml deionisiertem Wasser bei 37 °C in Polypropylen-Röhrchen [Th. Geyer] gelagert. Die Oberflächenbearbeitung wurde mit zwei unterschiedlichen Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Prophy-Mate neo [NSK], easyjet pro [mectron]) durchgeführt, die mit drei verschiedenen Reinigungspulvern (FLASH pearl/CaCO₃ [NSK], prophylaxis powder/NaHCO₃ [mectron], Clinpro Prophy Powder/Glycin [3M ESPE]) kombiniert wurden. In Abständen von 28 d ± 4 h wurden die Proben bis zur 20. Woche entnommen, halbseitig für 4 Sekunden mit einem PWS bestrahlt (Abstand: 3 bis 5 mm, Winkel: 30° bis 60°), (außer 10 Referenzproben) und in ein neues Polypropylen-Röhrchen mit frischem Wasser gegeben. Anschließend wurde die Fluoridfreisetzung im Eluat mittels ionenselektiver Elektrode (HI 4110 [HANNA Instruments]) bestimmt.

Ergebnisse: Die signifikant höchste Fluoridfreisetzung wurde für Transbond PLUS Color Change Adhesive gemessen, gefolgt von Beauty Ortho Bond. Die statistische Auswertung zwischen der 17. und 20. Versuchswoche zeigte, dass durch die Oberflächenbearbeitung keine generelle Erhöhung der Fluoridfreisetzung erreicht wurde. Bei verschiedenen Materialien wurde in Abhängigkeit von der gewählten

Bearbeitungsvariante eine Steigerung der Fluoridfreisetzung bewirkt, jedoch wurden damit nicht die starken Unterschiede in der Fluoridfreisetzung zwischen den untersuchten Materialien ausgeglichen.

Auffällig war, dass die Verwendung von Kalziumkarbonat (FLASH pearl) als Strahlmittel in beiden PWS-Geräten bei gleicher Geräteeinstellung (ohne Wasserzufuhr) eine deutliche Steigerung der Fluoridfreisetzung gegenüber den unbestrahlten Referenzgruppen und den übrigen Reinigungspulvern (Glycin und Natriumbikarbonat) bewirkte (Ausnahme: Transbond PLUS Color Change Adhesive).

Vergleicht man die Wirkung beider Pulver-Wasser-Strahlgeräte hinsichtlich der Verteilung von signifikanten Steigerungen der Fluoridkonzentrationen gegenüber den unbestrahlten Referenzgruppen, so wurden bei Betrachtung aller Adhäsive und Bearbeitungsvarianten mit Prophy-Mate neo im Verhältnis 4:3 mehr signifikante Steigerungen als mit easyjet pro beobachtet.

Schlussfolgerung: Da Bracketadhäsive in der Regel relativ rau sind, ist es vorteilhaft, dass durch eine PWS-Anwendung die Fluoridfreisetzung erhöht werden kann.

7.2 Summary

The effect of air-powder polishing on the fluoride release of bracket adhesives. An in-vitro study

Aim: It was the aim of this study to investigate the effect of air-powder polishing on the fluoride release of bracket adhesives in vitro.

Material and methods: The following adhesives were investigated: Tectosan (fluoride-free control group) [BonaDent], ConTec LC [Dentaurum], Beauty Ortho Bond [SHOFU], Transbond PLUS Color Change Adhesive [3M Unitek], Light Bond [Reliance Orthodontic Products], Phase II [Reliance Orthodontic Products], BonaBond plus LC [BonaDent]. For each of these materials, 130 plastic rings made from Delrin [DuPont] (1.5 mm thick, diameter 7 mm) were filled with adhesive and photopolymerized (bluephase 20i, 1200 mW/cm² [Ivoclar Vivadent]), (except for Phase II) between a polyethylene foil [MDS] and a glass plate [Becht] under a load of 5 N. The Polymerization was carried out at a 90° angle through the bottom- and the top glass plate (5 to 6 mm thick). The composite discs were stored in 2.5 ml of deionized water at 37 °C in polypropylene vials [Th. Geyer]. Surface treatment was carried out with two different air-powder-polishing devices (APP) (Prophy-Mate neo [NSK], easyjet pro [mectron]), that were combined with three different cleaning powders (FLASH pearl/CaCO₃ [NSK], prophylaxis powder/NaHCO₃ [mectron], Clinpro Prophy Powder/glycine [3M ESPE]). Specimens were taken at intervals of 28 days ± 4 hours up to week 20 from their vials, were then air-polished on half of their upper and lower surfaces for 4 seconds (distance: 3-5 mm, angle: 30°-60°), (with the exception of ten reference specimens) and subsequently transferred into a new polypropylene vial with fresh deionized water. After that, the fluoride release in the eluate was determined with a fluoride ion-selective electrode (HI 4110 [HANNA Instruments]).

Results: The significantly highest fluoride release was measured for Transbond PLUS Color Change Adhesive, followed by Beauty Ortho Bond. The statistical evaluation between week 17 and 20 showed that no general increase in the fluoride release was achieved through air-polishing. For various materials, an increase in the

fluoride release was achieved as a function of the treatment option selected, but this did not compensate for the big differences in the fluoride release between the materials investigated.

It was noticeable that the use of calcium carbonate (FLASH pearl) as an abrasive in both APP with the same instrument setting (without water) caused a significant increase in fluoride release compared with the unexposed reference groups and the other abrasives (glycine and sodium bicarbonate), (except for Transbond PLUS Color Change Adhesive).

Comparing the effect of both APP in the allocation of significant increases in the fluoride concentrations compared with the unexposed reference groups, in view of all adhesives and processing variants with Prophy-Mate neo were observed more significant increases than with easyjet pro in ratio of 4 to 3.

Conclusion: As bracket adhesives usually have rather rough surfaces it seems to be a beneficial effect that air-polishing has the potential to increase the fluoride release under certain conditions.

8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Alexander SA, Ripa LW. Effects of self-applied topical fluoride preparations in orthodontic patients. *Angle Orthod* 2000;70:424-430.
2. Anwar H, Strap JL, Costerton JW. Establishment of aging biofilms: possible mechanism of bacterial resistance to antimicrobial therapy. *Antimicrob Agents Chemother* 1992;36:1347-1351.
3. Aoba T. Solubility properties of human tooth mineral and pathogenesis of dental caries. *Oral Dis* 2004;10:249-257.
4. Arends J, Christoffersen J, Christoffersen MR, Schuthof J. Influence of fluoride concentration on the progress of demineralization in bovine enamel at pH 4,5. *Caries Res* 1983;17:455-462.
5. Årtun J, Brobakken BO. Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *Eur J Orthod* 1986;8:229-234.
6. Årtun J, Thylstrup A. A 3-year clinical and SEM study of surface changes of carious enamel lesions after inactivation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;95:327-333.
7. Axelsson P, Lindhe J. The effect of a plaque control program on gingivitis and dental caries in schoolchildren. *J Dent Res* 1977;56:C142-C148.
8. Bailey LR, Phillips RW. Effects of certain abrasive materials on tooth enamel. *J Dent Res* 1950;29:740-748.
9. Balenseifen JW, Madonia JV. Study of dental plaque in orthodontic patients. *J Dent Res* 1970;49:320-340.
10. 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. *Zahnmed. Diss., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen* (1987).
11. Barnes CM, Russel 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.
12. Basdra EK, Huber H, Komposch G. Fluoride released from orthodontic bonding agents alters the enamel surface and inhibits enamel demineralization in vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:466-472.
13. Basso GR, Della Bona Á, Gobbi DL, Cecchetti D. Fluoride release from restorative materials. *Braz Dent J* 2011;22:355-358.

14. Baysal A, Uysal T. Resin-modified glass ionomer cements for bonding orthodontic retainers. *Eur J Orthod* 2010;32:254-258.
15. 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.
16. Black RB. Airbrasive: some fundamentals. *J Am Dent Assoc* 1950;41:701-710.
17. Black RB. Application and reevaluation of air abrasive technic. *J Am Dent Assoc* 1955;50:408-414.
18. Black RB. Technic for non-mechanical preparation of cavities and prophylaxis. *J Am Dent Assoc* 1945;32:955-965.
19. Bock NC, von Bremen J, Kraft M, Ruf S. Plaque control effectiveness and handling of interdental brushes during multibracket treatment-a randomized clinical trial. *Eur J Orthod* 2010;32:408-413.
20. BonaDent/BonaBond plus LC, Sicherheitsdatenblatt SpezBB LC2012 (Stand 15.02.2012).
URL: <http://www.bonadent.de/>, auf Nachfrage von Frau Herrmannek erhalten.
21. BonaDent/Persönliche Mitteilung von Frau Herrmannek zu Tectosan und BonaBond plus LC, 17./18.04.2013.
URL: <http://www.bonadent.de/>.
22. BonaDent/Tectosan, Sicherheitsdatenblatt vom 22.03.2012.
URL: <http://www.bonadent.de/images/pdfs/sicherheitsdatenblatt/tcno-mix-paste-2012.pdf>, Download vom 16.11.2013.
23. Boyar RM, Thylstrup A, Holmen L, Bowden GH. The microflora associated with the development of initial enamel decalcification below orthodontic bands in vivo in children living in a fluoridated-water area. *J Dent Res* 1989;68:1734-1738.
24. Boyde A. Airpolishing effects on enamel, dentine, cements and bone. *Br Dent J* 1984;156:287-291.
25. Braun A, Krause F, Nolden R, Frentzen M. Subjective intensity of pain during the treatment of periodontal lesions with the VectorTM-system. *J Periodont Res* 2003;38:135-140.
26. Brosius F. SPSS 19, 1. Auflage. Hüthig-Jehle-Rehm, Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg 2011; Seite 500.
27. Buren JL, Staley RN, Wefel J, Qian F. Inhibition of enamel demineralization by an enamel sealant, Pro Seal: An in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:88-94.

28. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Tagliani P, Klersy C. In-vitro fluoride release rates from 9 orthodontic bonding adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:656-662.
29. Castagnola L, Wirz J, Garberoglio R. Die Reinigung der Schmelzoberfläche von Plaques und starken Verfärbungen mit dem Prophy-Jet. *Quintessenz* 1983;34:963-972.
30. Chadwick BL, Roy J, Knox J, Treasure ET. The effect of topical fluorides on decalcification in patients with fixed orthodontic appliances: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:601-606.
31. Chang HS, Walsh LJ, Freer TJ. Enamel demineralization during orthodontic treatment. Aetiology and prevention. *Aust Dent J* 1997;42:322-327.
32. Chatterjee R, Kleinberg I. Effect of orthodontic band placement on the chemical composition of human incisor tooth plaque. *Arch Oral Biol* 1979;24:97-100.
33. Chatzistavrou E, Eliades T, Zinelis S, Athanasiou AE, Eliades G. Fluoride release from an orthodontic glass ionomer adhesive in vitro and enamel fluoride uptake in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:458.e1-458.e8.
34. Choi D-S, Cha B-K, Jost-Brinkmann P-G, Lee S-Y, Chang B-S, Jang I, Song J-S. Microbiologic changes in subgingival plaque after removal of fixed orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2009;79:1149-1155.
35. Clarkson J, Hardwick K, Barmes D, Richardson LM.. International collaborative research on fluoride. *J Dent Res* 2000;79:893-904.
36. Cohen WJ, Wiltshire WA, Dawes C, Lavelle CLB. Long-term in vitro fluoride release and rerelease from orthodontic bonding materials containing fluoride. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:571-576.
37. Corry A, Millett DT, Creanor SL, Foye RH, Gilmour WH. Effect of fluoride exposure on cariostatic potential of orthodontic bonding agents: an in vitro evaluation. *J Orthod* 2003;30:323-329.
38. Davey ME, O'toole GA. Microbial biofilms: from Ecology to molecular genetics. *Microbiol Mol Biol Rev* 2000;64:847-867.
39. Davies ER, Perarson GJ, Anstice HM, Moronfollu C. Studies on release/absorption from resin-modified glass-ionomers and related materials (Abstract 90). *J Dent Res* 1995;74:814(IADR Abstract):833.
40. De Boever JA, Vande Velde F. Pulverstrahlgeräte zur Belagsentfernung. Eine klinische und rasterelektronenmikroskopische Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1985;40:725-729.

41. Demartines J-J. Scientific study of the effects of prophy powders on actual teeth. 2002.
URL: <http://www.kavo.de/Aktuelles/Studien/Prophylaxe.aspx>,
Download vom 01.07.2013.
42. Demito CF, Vivaldi-Rodrigues G, Ramos AL, Bowman SJ. 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.
43. Dentaureum/ConTec LC, Sicherheitsdatenblatt Nr.: 163-510.
URL: <http://www.dentaureum.com>, auf Nachfrage erhalten.
44. Dentaureum/Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Lietz zu ConTec LC, 08.2011.
URL: <http://www.dentaureum.com>.
45. Dentaureum/Persönliche Mitteilung von Herrn Schäfer zu ConTec LC, 25.03.2013.
URL: <http://www.dentaureum.com>.
46. Diamanti-Kipiotti A, Gusberti FA, Lang NP. Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances. *J Clin Periodontol* 1987;14:326-333.
47. Diedrich P. Die Bracketentfernung und anschließende Schmelzpolitur – eine rasterelektronenmikroskopische Studie. *Fortschr Kieferorthop* 1980;41:491-502.
48. Diedrichs U. Direkte Restaurationen mit Giomer - ästhetisch und protektiv. *DZW* 2009;8:1-5.
49. Djamchidi C. Untersuchungen über die Reinigungswirkung von Superfloss und Orthofloss bei Multibracketpatienten und eine auf den Ergebnissen basierende Neuentwicklung eines Zahnseidehalters. Eine In-vivo-Studie. Zahnmed. Diss., Humboldt-Universität zu Berlin (2001).
50. Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. *Clin Microbiol Rev* 2002;15:167-193.
51. Donly KJ, Istre S, Istre T. In vitro enamel remineralization at orthodontic band margins cemented with glass ionomer cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:461-464.
52. Duarte PM, de Mendonca AC, Maximo MBB, Santos VR, Bastos MF, Nociti FH. Effect of anti-infective mechanical therapy on clinical parameters and cytokine levels in human peri-implant diseases. *J Periodontol* 2009;80: 234-243.
53. Dubroc GC, Mayo JA, Rankine CA. Reduction of caries and of demineralization around orthodontic brackets: effect of a fluoride-releasing resin in the rat model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:583-587.

54. DÜRR Dental/Vector Paro Pro, Produktbeschreibung: P007-673-01/DD-dd.de/2.5/01/D2.
URL: <http://www.duerrdental.com/de/produkte/zahnerhaltung/vector-paro/>,
Download vom 17.07.2013.
55. Duschner H, Uchtmann H, Duschner HA. Wirkungsmechanismen von Fluorid nach Duraphat-Behandlung. Dtsch Zahnärztl Z 1984;39:705-709.
56. El Mallakh BF, Sarkar NK. Fluoride release from glass-ionomer cements in de-ionized water and artificial saliva. Dent Mater 1990;6:118-122.
57. Eliades GC, Tzoutzas JG, Vougiouklakis GJ. Surface alterations on dental restorative materials subjected to an air-powder abrasive instrument. J Prosthet Dent 1991;65:27-33.
58. EMS/AIR-FLOW PREP K1 MAX, Bedienungsanleitung: FB-135/D_ed_03-05.
URL: http://www.ems-company.com/media/pdf/manual/FB-135_D_2005-03_AIR-FLOW%20PREP%20K1%20MAX.pdf, Download vom 16.06.2013.
59. Enaia M, Bock N, Ruf S. White-spot lesions during multibracket appliance treatment: A challenge for clinical excellence. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2011;140:e17-e24.
60. Endt M. Einfluß von Pulver-Wasser-Strahlgräten auf die Fluoridfreisetzung von Komposit-Kunststoffen. Zahnmed. Diss., Humboldt-Universität zu Berlin (1998).
61. 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.
62. Field A. Discovering Statistics Using SPSS. Third Edition. SAGE, London 2009; Seite 360.
63. Fischer C, Lussi A, Hotz P. Kariostatische Wirkungsmechanismen der Fluoride - Übersicht. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1995;105:311-317.
64. 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.
65. Flemmig TF, Hetzel M, Topoll H, Gerss J, Häberlein I, Petersilka G. Subgingival debridement efficacy of glycine powder air polishing. J Periodontol 2007;78:1002-1010.
66. Förch/Destilliertes Wasser, Technisches Datenblatt vom 31.08.10.
URL: <http://www.foerch.de/datasheet/tdb/67100256.pdf>,
Download vom 11.05.2013.

67. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials* 1998;19:503-508.
68. Forsten L. Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake. *Acta Odontol Scand* 1995;53:222-225.
69. Frankenberger R, Lohbauer U, Taschner M, Petschelt A, Nikolaenko SA. Adhesive luting revisited: influence of adhesive, temporary cement, cavity cleaning, and curing mode on internal dentin bond strength. *J Adhes Dent* 2007;9:269-273.
70. Frankenberger R, Lohbauer U, Tay FR, Taschner M, Nikolaenko SA. The effect of different air-polishing powders on dentin bonding. *J Adhes Dent* 2007; 9:381-389.
71. 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.
72. Fukazawa M, Matsuya S, Yamane M. Mechanism for erosion of glass-ionomer cements in an acidic buffer solution. *J Dent Res* 1987;66:1770-1774.
73. Galloway SE, Pashley DH. Rate of removal of root structure by the use of the Prophy-Jet device. *J Periodontol* 1987;58:464-469.
74. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnet AJ, Benson BJ. Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:403-407.
75. Gerbo LR, Barnes CM, Leinfelder KF. Applications of the air-powder polisher in clinical orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:71-73.
76. Gibbons RJ. Bacterial adhesion to oral tissues: a model for Infectious diseases. *J Dent Res* 1989;68:750-760.
77. Glockmann E, Gehroldt C, Triemer K. Fluoridaufnahme und -wiederabgabe aus Glasionomerwerkstoffen in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:668-672.
78. Goebel S, Jost-Brinkmann P-G. Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Oberflächenspannung von Zahnschmelz. *ZMK* 2002;18:112-114.
79. Goh HH. Interspace/interdental brushes for oral hygiene in orthodontic patients with fixed appliances. *Cochrane Database Syst Rev* 2007;18:CD005410. Review
80. Goldstein RE, Parkins FM. Air-abrasive technology: its new role in restorative dentistry. *J Am Dent Assoc* 1994;125:551-557.

81. Gomes SC, Varela CC, da Veiga SL, Rosing CK, Oppermann RV. Periodontal conditions in subjects following orthodontic therapy. A preliminary study. *Eur J Orthod* 2007;29:477-481.
82. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 1982;81:93-98.
83. Gorton J, Featherstone JD. In vivo inhibition of demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:10-14.
84. Güntsch A, Fatori S, Seltmann T, Sigusch BW, Glockmann E, Klinger G. Klinische und mikrobiologische Untersuchungen zur Parodontitistherapie mit Handinstrumenten und Vector. *Dtsch Zahnärztl Z* 2006;61:291-298.
85. Gwinnett JA, Ceen F. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning electron microscope study. *Am J Orthod* 1979;75:667-677.
86. Hamilton IR. Biochemical effects of fluoride on oral bacteria. *J Dent Res* 1990;69:660-667.
87. Hamilton IR. Effects of fluoride on enzymatic regulation of bacterial carbohydrate metabolism. *Caries Res* 1977;11:262-291.
88. HANNA/Ionensensitive Fluoridelektrode HI 4110 /Produktbeschreibung: MAN4110 10/02R3.
URL: www.hannainst.com/manuals/HI4110R3.pdf, Download vom 29.07.2013.
89. Hannemann M, Diedrich P. Der Einsatz des Prophy-Jet-Gerätes zur Schmelzpolitur nach der Bracketentfernung. *Fortschr Kieferorthop* 1986;47:317-326.
90. Harada A, Sekido N, Akahoshi T, Wada T, Mukaida N, Matsushima K. Essential involvement of interleukin-8 (IL-8) in acute inflammation. *J Leukoc Biol* 1994;56:559-564.
91. Hardie JM, Bowden GH. Bacterial flora of dental plaque. *Br Med Bull* 1975;31:131-136.
92. Heintze SD. Individualprophylaxe bei Multiband-Patienten. *Quintessenz J* 1994;24:245-252.
93. Heintze SD, Miethke R-R. Kieferorthopädie und Kariesrisiko. *Prakt Kieferorthop* 1993;7:31-46.
94. Heintze SD, Finke C, Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R. Individualprophylaxe in der Kieferorthopädie. *Quintessenz, Berlin*; Auflage: 1., Auflage (24. Juni 1992), Seite 53-61.

95. Heintze SD, Jost-Brinkmann P-G, Loundos J. Effectiveness of three different types of electric toothbrushes compared with a manual technique in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1996;110:630-638.
96. Heiser W, Pfaller K. Die Anwendung von Air Flow[®] in der kieferorthopädischen Praxis. *Inf Orthod Kieferorthop* 1984;16:185-190.
97. Heyman SN, Babayof I. Emphysematous complications in dentistry, 1960-1993: an illustrative case and review of the literature. *Quintessence Int* 1995;26:535-543.
98. Hotz P, Gujer J, Stassinakis A. Influence of specimen shape, setting time and glassionomer typ on the long-term fluoride release (Abstr. 420). *J Dent Res* 1996;75(IADR Abstract):70.
99. Hu W, Featherstone JDB. Prevention of enamel demineralization: An in-vitro study using light-cured filled sealant. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:592-600.
100. Hügelmeyer T. Oberflächenveränderung von Zahnschmelz, Wurzelzement, Amalgam und Kunststoff nach Behandlung mit verschiedenen Reinigungsinstrumenten. *Quintessenz* 1989;40:683-693.
101. IDZ: IDZ Mundgesundheitsstudie zeigt: Deutsche Zahngesundheit zeigt Besserung. 42 % der 8-9jähr. Kinder naturgesund. *Zahnärztl Mitt* 1990;80:1456-1462.
102. Ikemura K, Tay FR, Kouro Y, Endo T, Yoshiyama M, Miyai K, Pashley DH. Optimizing filler content in an adhesive system containing pre-reacted glass-ionomer fillers. *Dent Mater* 2003;19:137-146.
103. Ivoclar Vivadent/bluephase[®] 20i, Wissenschaftliche Dokumentation bluephase[®] Familie - LED für jeden Einsatz.
URL:http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ivoclarvivadent.de%2Fzoolu-website%2Fmedia%2Fdocument%2F2209%2FBluephase%2BFamilie&ei=923qUb_6NYOJtAb9poDYDA&usg=AFQjCNGbARmoOnV1Fvh_IL1YO3UU78SyyA&bvm=bv.49478099,d.Yms&cad=rja, Download vom 30.06.2013.
104. Janson G, Bombonatti R, Brandao AG, Henriques JF, de Freitas MR. Comparative radiographic evaluation of the alveolar bone crest after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:157-164.
105. Jost-Brinkmann P-G. Wirkungen und Nebenwirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei regelmäßiger Anwendung in der Orthodontie. Verlag-Mainz, Aachen (1997).
106. Jost-Brinkmann P-G. Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Zahnschmelz. Eine In-vitro-Studie. *J Orofac Orthop* 1998;59:1-16.

107. Jost-Brinkmann P-G, Heintze SD, Loundos J. Studie zur Wirksamkeit elektrischer Zahnbürsten bei Multiband-Patienten. *Kieferorthop* 1994;8:235-246.
108. Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R, Gehrke T. Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen und die Entwicklung von Karies, insbesondere Initiailläsionen. *Inf Orthod Kieferorthop* 1996;28:327-336.
109. Jost-Brinkmann P-G, Radlanski RJ. Oberflächenbeeinflussung kieferorthopädischer Brackets durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte. *Quintessenz* 1996;47:219-227.
110. Jost-Brinkmann P-G, Schiller RA, Jost-Brinkmann B. Untersuchung zur Häufigkeit transitorischer Bakteriämien durch Zahnreinigung mittels Pulverstrahlgeräten. *Quintessenz* 1994;45:1677-1687.
111. KaVo/MULTiflex-LUX-Kupplung 465 LRN, Gebrauchsanweisung: 1.008.5362 - kb - 20110117 - 01 - de.
URL: http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDoQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.kavo.de%2Ffunctions%2Fcsdownload3.aspx%3Ffile%3DGA_465RN_20110118_01_DE.PDF%26id%3D28346%26org%3D003%26key%3D291216b48439338b61682a63a999a1a7b78a285c5929f773e1c167103d04a97f&ei=x8uHUo3HHpHJsgaCmlHICg&usg=AFQjCNGdSEhSZv7o71gplj5IEFTSRVTnjg&bvm=bv.56643336,d.Yms, Download vom 20.01.2013.
112. Kilicoglu H, Yildirim M, Polater H. Comparison of the effectiveness of two types of toothbrushes on the oral hygiene of patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:591-594.
113. Kitayama S, Nikaido T, Ikeda M, Foxton RM, Tagami J. Enamel bonding of self-etch and phosphoric acid-etch orthodontic adhesive systems. *Dent Mater J* 2007;26:135-143.
114. Klinge B, Gustafsson A, Berglundh T. A systematic review of the effect of anti-infective therapy in the treatment of peri-implantitis. *J Clin Periodontol* 2002;29:213-225;discussion 232-233.
115. Kolenbrander PE, Andersen RN, Blehert DS, Eglund PG, Foster JS, Palmer RJ. Communication among oral bacteria. *Microbiol Mol Biol Rev* 2002;66:486-505.
116. Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H. Effects of air-polishing on dental plaque removal and hard tissues as evaluated by scanning electron microscopy. *J Periodontol* 1990;61:334-338.
117. Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H. The gingival effects of dental airpolishing as evaluated by scanning electron microscopy. *J Periodontol* 1989;60:19-22.

118. Kossack CKH. Plaque- und Gingivitisreduktion bei Multibracketpatienten – Zahnbürsten und Interdentalreinigungshilfen im Vergleich, Eine klinische Einfach-blind-Studie. Zahnmed. Diss., Charité - Universitätsmedizin Berlin (2008).
119. Kossack CKH, Jost-Brinkmann P-G. Plaque and gingivitis reduction in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances – comparison of toothbrushes and interdental cleaning aids. A 6-Month clinical single-blind trial. *J Orofac Orthop* 2005;66:20-38.
120. 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.
121. Krejci J. Aktueller Stand der Kompomere. *Der Freie Zahnarzt* 1995;9:52-57.
122. Larsen MJ, Jensen SJ. Solubility, unit cell dimensions and cristallinity of fluoridated human dental enamel. *Arch Oral Biol* 1989;34:969-973.
123. Levinkind M, Vandernoot TJ, Elliott JC. Electrochemical impedance characterization of human and bovine enamel. *J Dent Res* 1990;69:1806-1811.
124. Lie, T. Morphologic studies on dental plaque formation. *Acta Odontol Scand* 1979;37:73-85.
125. Liebenberg WH, Crawford BJ. Subcutaneous, orbital, and mediastinal emphysema secondary to the use of an air-abrasive device. *Quintessence Int* 1997;28:31-38.
126. Limberger K, Rudisch A, Wagner M, Borutta A. Beobachtungsstudie zur karieshemmenden Wirkung von elmex gelée bei Kindern mit hohem Kariesrisiko. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 2009;31:102-107.
127. Loe H, Theilade E, Jensen SB. Experimental gingivitis in man. *J Periodontol* 1965;36:177-187.
128. Loesche WJ, Syed SA, Schmidt E, Morrison EC. Bacterial profiles of subgingival plaques in periodontitis. *J Periodontol* 1985;56:447-456.
129. 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.
130. Lubow RM, Cooley RL. Effect of air-powder abrasive instrument on restorative materials. *J Prosthet Dent* 1986;55:462-465.

131. 3M ESPE/Clinpro Prophy Powder, Technisches Produktprofil (70200955493/01(10.2007)), Pulver für sub- und supragingivale Plaqueentfernung mit Pulverwasserstrahlgeräten.
URL: multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSufSevTsZxtUnY_1OxtGevUqevTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=CLI_Prophy_Powder_TPP_D.pdf, Download vom 22.11.2011.
132. 3M Unitek/Persönliche Mitteilung von Herrn Pilloni zu Transbond PLUS Color Change Adhesive, 06.05.2013.
URL: <http://www.3m.com/>.
133. 3M Unitek/Transbond PLUS Color Change Adhesive, Sicherheitsdatenblatt Nr. 16-1815-6.
URL: http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?SSSSSuUn_zu8l00x482U5x_9Ov70k17zHvu9lxtD7SSSSSS--, Download vom 14.08.2011.
134. Makinson OF. Air-polishing systems. Clinical Notes No. 3. Aust Dent J 1985;30:136.
135. Marcusson A, Norevall L-I, Persson M. White spot reduction when using glass ionomer cement for bonding in orthodontics: a longitudinal and comparative study. Eur J Orthod 1997;19:233-242.
136. Marsh PD. Dental plaque: biological significance of a biofilm and community lifestyle. J Clin Periodontol 2005; 32:7-15.
137. Marsh PD, Moter A, Devine DA. Dental plaque biofilms: communities, conflict and control. Periodontol 2000 2011;55:16-35.
138. McNeill CJ. Fluoride release from light-cured orthodontic bonding materials. Master of Science, University of Manitoba (2000).
139. McNeill CJ, Wiltshire WA, Dawes C, Lavelle CLB. Fluoride release from new light-cured orthodontic bonding agents. Am J Orthod Dentofac Orthop 2001;120:392-397.
140. mectron/easyjet pro, Produktbeschreibung: DEP1013DE1007.
URL: http://www.mectron.de/fileadmin/user_upload/PDF/german/DEP1013DE1007_easyjet_screen.pdf, Download vom 17.11.2013.
141. mectron/prophylaxis powder, Gebrauchsanweisung: Prophylaxis powder Rev. 00 Del 09-01-2008 (Pulver beiliegend).
142. mectron/prophylaxis powder, Produktbeschreibung/Sicherheitsdatenblatt: Rev.03 del 23-01-2006.
URL: <http://www.williamgreen.com.au/sites/default/files/pdf/MSDS%20Mectron%20Phophy%20Powder.pdf>, Download vom 17.11.2013.

143. mectron/prophylaxis powder, Produktbeschreibung: DEP1009DE1008.
URL: http://www.mectron.de/fileadmin/user_upload/PDF/german/DEP1009_DE_1008_combi_turbo_020810.pdf, Download vom 20.01.2013.
144. Mengel R, Buns CE, Mengel C, Flores-de-Jacoby L. An in vitro study of the treatment of implant surfaces with different instruments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:91-96.
145. Merte K, Ziegowski V, Arnold A. Kinetische Kavitätenpräparation: Anspruch und Wirklichkeit. *Phillip Journal* 1999;1-2:16-21.
146. 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.
147. Miele/Aqua Purficator G7795/1, Produktbeschreibung: M.-Nr. 5 458 990.
URL: http://www.miele-professional.co.kr/gb/assets/GB_Brochure_Spec_app_ind_cleaners.pdf,
Download vom 11.05.2013.
148. Miethke R-R, Newesely H. Zur Kariesprophylaxe bei der kieferorthopädischen Therapie: Kieferorthopädische Kunststoffe mit Fluoridspeicherfunktion. *J Orofac Orthop* 1987;48:161-166.
149. Miliauskaite A, Berakdar M, Junker R, Kasaj A, Willershausen B, Sculean A. Nicht-chirurgische Parodontalbehandlung: Subgingivales Debridement mit Handinstrumenten versus Vector. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60:187-191.
150. 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.
151. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1982;82:62-67.
152. Moëne R, Décaillot F, Andersen E, Mombelli A. Subgingival plaque removal using a new air-polishing device. *J Periodontol* 2010;81:79-88.
153. Moëne R, Décaillot F, Mombelli A. Subgingivales Airpolishing. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2010;120:902-911.
154. Momber AW, Schulz R-R. Handbuch der Oberflächenbestrahlung Beton. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin 2006; S.154-156.
155. Moreno EC, Kresak M, Zahradnik RT. Physicochemical aspects of fluoride-apatite systems relevant to the study of dental caries. *Caries Res* 1977;11(Suppl.1):142-171.
156. Mulcahey K, Caputo AA, Duperon DF. In vitro bracket bond strength to acid-etched or air-abraded enamel. *Pediatr Dent* 1999;21:282-285.

157. Muller-Bolla M, Lupi-Pégerier L, Tardieu C, Velly AM, Antomarchi C. Retention of resin-based pit and fissure sealants: a systematic review. *Community Dent Oral Epidemiol* 2006;34:321-336.
158. 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).
159. Neidhardt A. Wer die Wahl hat – neue Prophylaxepulver für Pulverstrahlgeräte. *Dentalhygiene Journal* 2003;2:26-28.
160. 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.
161. NSK/FLASH pearl, Herstellerangaben: PR-D384G Ver.2 09.07.03.OM. URL: http://www.germany.nsk-dental.com/images/stories/pdf/neo_flash_pearl.pdf, Download vom 21.11.2012.
162. NSK/FLASH pearl, Sicherheitsdatenblatt: CH-1295 / sept 10. URL: <http://www.germany.nsk-dental.com/de/kontakt/kontakt.html>, auf Nachfrage erhalten.
163. NSK/Persönliche Auskunft von Herrn Isele zu FLASH pearl, 17.04.2013. URL: <http://www.germany.nsk-dental.com/>.
164. NSK/Prophy-Mate neo, Herstellerangaben: PR-D384G Ver.2 09.07.03.OM. URL: http://www.germany.nsk-dental.com/images/stories/pdf/neo_flash_pearl.pdf, Download vom 25.11.2012.
165. O`Reilly MM, Featherstone JD. Demineralization and remineralization around orthodontic appliances: an in vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;92:33-40.
166. Øgaard B. Effects of fluoride on caries development and progression in vivo. *J Dent Res* 1990;69:813-819.
167. Øgaard B. Prevalence of white spot lesions in 19-year-olds: A study on untreated and orthodontically treated persons 5 years after treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:423-427.
168. Øgaard B, Duschner H, Ruben J, Arends J. Microradiography and confocal laser scanning microscopy applied to enamel lesions formed in vivo with and without fluoride varnish treatment. *Eur J Oral Sci* 1996;104:378-383.
169. Øgaard B, Rezk-Lega F, Ruben J, Arends J. Cariostatic effect and fluoride release from a visible light-curing adhesive for bonding of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992;101:303-307.

170. Øgaard B, Rølla G, Arends J. Orthodontic appliances and enamel demineralization: Part 1. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:68-73.
171. Øgaard B, Rølla G, Arends J, Ten Cate JM. Orthodontic appliances and enamel demineralization: Part 2. Prevention and treatment of lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:123-128.
172. Øgaard B, Rølla G, Dijkman T, Ruben J, Arends J. Effect of fluoride mouthrinsing on caries lesion development in shark enamel: an in situ caries model study. *Scand J Dent Res* 1991;99:372-377.
173. Øgaard B, Rølla G, Ruben J, Arends J. Relative cariostatic effects of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in situ. *J Dent Res* 1990;69:1505-1506.
174. OMNIDENT/Omniflow, Omniflow soft, Omniflow Perio pro, Produktbeschreibung 2013.
URL: http://www.dental-union.com/du/flyer/Omnident_Katalog_2013.pdf,
Download vom 20.07.2013.
175. Pancherz H, Mühlich DP. Entwicklung von Karies bei kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaturen – Ein Vergleich von Zähnen mit und ohne Kariesschädigungen. *Kieferorthop* 1997;11:139-144.
176. Parsek MR, Greenberg EP. Acyl-homoserine lactone quorum sensing in gram-negative bacteria: a signaling mechanism involved in associations with higher organisms. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000; 97:8789-8793.
177. Paschos E, Okuka S, Ilie N, Hutz KC, Hickel R, Rudzki-Janson I. Investigation of shear-peel bond strength of orthodontic brackets on enamel after using Pro Seal™. *J Orofac Orthop* 2006;67:196-206.
178. Pelka MA, Altmaier K, Petschelt A, Lohbauer U. The effect of air-polishing abrasives on wear of direct restoration materials and sealants. *JADA* 2010;141:63-70.
179. Pelka MA, 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-e148.
180. Petersilka GJ. Subgingival air-polishing in the treatment of periodontal biofilm infections. *Periodontology* 2000 2011;55:124-142.
181. Petersilka G, Faggion CM Jr, Stratmann U, Gerss J, Ehmke B, Häberlein I, Flemmig TF. Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol* 2008;35:324-332.
182. Petersilka G, Faggion CMJ. Unterstützende Parodontitistherapie mit niedrig abrasiver Pulverstrahltechnik. *Parodontologie* 2008;19:125-133.

183. Petersilka G, Panitz W, Weresch R, Eichinger M, Kern U. Luftemphyseme im Rahmen der Parodontitistherapie. Eine Fallserie mit kritischer Literaturübersicht. *Parodontologie* 2010;21:165-175.
184. Petersilka GJ, Bell M, Häberlein I, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. In vitro evaluation of noval low abrasive air polishing powders. *J Clin Periodontol* 2003;30:9-13.
185. Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. Root defects following air polishing. *J Clin Periodontol* 2003;30:165-170.
186. Petersilka GJ, Schenck U, Flemmig TF. Powder emission rates of four air polishing devices. *J Clin Periodontol* 2002;29:694-698.
187. Petersilka GJ, Steinmann D, Häberlein I, Heinecke A, Flemmig TF. Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive air-polishing powder. *J Clin Periodontol* 2003;30:328-333.
188. Petersilka GJ, Tunkel J, Barakos K, Heinecke A, Häberlein I, Flemmig TF. Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder. *J Periodontol* 2003;74:307-311.
189. Pfaller K, Heiser W. Die Entfernung von Kunststoffresten nach Bracketabnahme mit dem Air Flow[®]-Gerät. *Inf Orthod Kieferorthop* 1984;3:315-322.
190. Pithon MM, dos Santos RL, Ruellas AC, Sant'Anna EF. One-component self-etching primer: a seventh generation of orthodontic bonding system? *Eur J Orthod* 2010;32:567-570.
191. Purucker P, Semrau K, Miethke R-R, Bernimoulin J-P. Einfluß verschiedener kieferorthopädischer Retentionselemente auf die Zusammensetzung der subgingivalen Mikroflora. *Dtsch Zahnärztl Z* 1987;42:458-462.
192. Quirynen M, Bollen CM. The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature. *J Clin Periodontol* 1995;22:1-14.
193. Quirynen M, Marechal M, Busscher HJ, Weerkamp AH, Arends J, Darius PL, van Steenberghe D. The influence of surface free-energy on planimetric plaque growth in man. *J Dent Res* 1989;68:796-799.
194. Quirynen M, Marechal M, Busscher HJ, Weerkamp AH, Darius PL, van Steenberghe D. The influence of surface free energy and surface roughness on early plaque formation. An in vivo study in man. *J Clin Periodontol* 1990;17:138-144.
195. 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.

196. Rausch-Fan X, Ulm C, Jensen-Jarolim E, Schedle A, Boltz-Nitulescu G, Rausch WD, Matejka M. Interleukin-1beta-induced prostaglandin E2 production by human gingival fibroblasts is upregulated by glycine. *J Periodontol* 2005;76:1182-1188.
197. Rawls HR. Evaluation of fluoride-releasing dental materials by means of in vitro and in vivo demineralization models: reaction paper. *Adv Dent Res* 1995;9:324-331.
198. Rawls HR. Fluoride-releasing acrylics. *J Biomater Appl* 1987;1:382-405.
199. Reisbich I. Untersuchungen zur Fluoridabgabe aus Kompomeren. Zahnmed. Diss., Friedrich-Schiller-Universität Jena (2002).
200. Reli Kunststoffe/Delrin-Ringe, Werkstoffdatenblatt – POM C. natur. URL: <http://www.reli-kunststoffe.de/>, auf Nachfrage von Herrn Reinhold erhalten.
201. Reliance Orthodontic Products/Light Bond, Sicherheitsdatenblatt vom 02.11.2008 (Revisionsnummer: 5). URL: http://www.relianceorthodontics.com/v/vspfiles/downloadables/msds/Light_Bond_Paste_wFluoride_msds.pdf, Download vom 14.08.2011.
202. Reliance Orthodontic Products /Persönliche Mitteilung von Herrn Walburger zu Phase II und Light Bond, 04.04.2013. URL: <http://www.ortho-organizers.de/unser-team/>.
203. Reliance Orthodontic Products/Phase II, Sicherheitsdatenblatt vom 02.08.2008 (Revisionsnummer: 5). URL: <http://www.relianceorthodontics.com/Product-MSDS-s/1877.htm>, Download vom 14.08.2011.
204. Ren Y, Hazemeijer H, de Haan B, Qu N, de Vos P. Cytokine profiles in crevicular fluid during orthodontic tooth movement of short and long durations. *J Periodontol* 2007;78:453-458.
205. Ren Y, Maltha JC, Van't Hof MA, Von Den Hoff JW, Kuijpers-Jagtman AM, Zhang D. Cytokine levels in crevicular fluid are less responsive to orthodontic force in adults than in juveniles. *J Clin Periodontol* 2002;29:757-762.
206. Rix D, Foley TF, Banting D, Mamandras A. A comparison of fluoride release by resin-modified GIC and polyacid-modified composite resin. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:398-405.
207. Rølla G. On the role of calcium fluoride in the cariostatic mechanism of fluoride. *Acta Odontol Scand* 1988;46:341-345.

208. Romano M, Sironi M, Toniatti C, Polentarutti N, Fruscella P, Ghezzi P, Faggioni R, Luini W, van Hinsbergh V, Sozzani S, Bussolino F, Poli V, Ciliberto G, Mantovani A. Role of IL-6 and its soluble receptor in induction of chemokines and leukocyte recruitment. *Immunity* 1997;6:315-325.
209. Roos-Jansaker A, Renvert S, Egelberg J. Treatment of periimplant infections: a literature review. *J Clin Periodontol* 2003;30:467-485.
210. Sachs L. *Angewandte Statistik*. 11. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2004; Seite 203.
211. Santos RL, Pithon MM, Vaitsman DS, Araújo MTS, Souza MMG, Nojima MGC. Long-term fluoride release from resin-reinforced orthodontic cements following recharge with fluoride solution. *Braz Dent J* 2010;21:98-103.
212. Schiffner U. Die Einwirkung eines abrasiven Pulverstrahles auf artifiziiell demineralisierten Schmelz. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:778-781.
213. Schiffner U. Fluorid in der Kariesprophylaxe. *ZWR* 2007;116:165-172.
214. Schmidt Chemie/Destilliertes Wasser, Sicherheitsdatenblatt vom 01.07.08 (Version 1.1).
URL: http://www.igefa.de/mediadatenNeu/pdf_dinblaetter/1162181.pdf,
Download vom 11.05.2013.
215. Schopf P. Indikation und Häufigkeit kieferorthopädischer Frühbehandlungs- bzw. interzeptiver Maßnahmen. *J Orofac Orthop* 2003;64:186-200.
216. Schwientek K. Der Einfluss unterschiedlicher Prophylaxepulver auf die adhäsive Verbundfestigkeit von Etch&Rinse- und Self-Etch-Adhäsiven. Zahnmed. Diss., Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (2011).
217. Scott L, Greer D. The effect of an air polishing device on dealant bond strength. *J Prosthet Dent* 1987;58:384-387.
218. Seemann R. Untersuchungen zur Kariesprävention in einem biofilmbasierten In-vitro-Modell – Validierung an Beispielen innovativer Präventionsmaßnahmen nach Monoinfektion mit *Streptococcus mutans*. Zahnmedizinische Habilitation, Charité-Universitätsmedizin Berlin (2005).
219. SHOFU/Beauty Ortho Bond, Sicherheitsdatenblatt vom 17.06.2009 (Version-Nr. 1).
URL: http://shofu.de/uploads/tx_shofuproducts/downloads/SDB_Beauty_Ortho_Bond_Paste_Salivatect_D.pdf, Download vom 28.03.2010.
220. SHOFU/Persönliche Mitteilung von Herrn Hesselmann zu Beauty Ortho Bond, 02.04.2013.
URL: <http://www.shofu.de/>.

-
221. Silverstone LM. Remineralization phenomena. *Caries Res* 1977;11:59-84.
 222. Simonsen RJ, Neal RC. A review of the clinical application and performance of pit and fissure sealants. *Aust Dent J* 2011;56:45-58.
 223. Socransky SS, Haffajee AD, Smith C, Dibart S. Relation of counts of microbial species to clinical status at the sampled site. *J Clin Periodontol* 1991;18:766-775.
 224. Spittler A, Reissner CM, Oehler R, Gornikiewicz A, Gruenberger T, Manhart N, Brodowicz T, Mittlboeck M, Boltz-Nitulescu G, Roth E. Immunomodulatory effects of glycine on LPS-treated monocytes: reduced TNF-alpha production and accelerated IL-10 expression. *FASEB J* 1999;13:563-571.
 225. Stecksén-Blicks C, Renfors G, Oscarson ND, Bergstrand F, Twetman S. Caries-preventive effectiveness of a fluoride varnish: a randomized controlled trial in adolescents with fixed orthodontic appliances. *Caries Res* 2007;41:455-459.
 226. Strand GV, Raadal M. The efficiency of cleaning fissures with an air-polishing instrument. *Acta Odontol Scand* 1988;46:113-117.
 227. Strother JM, Kohn DH, Dennison JB, Clarkson BH. Fluoride release and re-uptake in direct tooth colored restorative materials. *Dent Mater* 1998;14:129-136.
 228. Sudjalim TR, Woods MG, Manton DJ. Prevention of white spot lesions in orthodontic practice: a contemporary review. *Aust Dent J* 2006;51:284-289.
 229. Suhsmann S, Staudinger S, Liberda R, Wernisch J, Matejka M. Untersuchungen über die Auswirkungen verschiedener Methoden der professionellen Zahnreinigung auf die Zahnhartgewebe. *Z Stomatol* 1986;83:69-78.
 230. Swift EJ. Fluoride release from two composite resins. *Quintessence Int* 1989;20:895-897.
 231. Ten Cate JM, Mundorff-Shrestha SA. Working Group Report 1: Laboratory models for caries (in vitro and animal models). *Adv Dent Res* 1995;9:332-334.
 232. Ten Cate JM, Van Loveren C. Fluoride mechanisms. *Dent Clin North Am* 1999;43:713-742.
 233. Ten Cate JM. Biofilms, a new approach to the microbiology of dental plaque. *Odontology* 2006;94:1-9.
 234. Ten Cate JM. Fluorides in caries prevention and control: empiricism or science. *Caries Res* 2004;38:254-257.

-
235. Ten Cate JM. Review on fluoride, with special emphasis on calcium fluoride mechanisms in caries prevention. *Eur J Oral Sci* 1997;105:461-465.
236. Thomson WM. Orthodontic treatment outcomes in the long term: findings from a longitudinal study of New Zealanders. *Angle Orthod* 2002;72:449-455.
237. Thermo Scientific TKA/TKA Mischbettsystem, Produktbeschreibung. URL: http://www.tka.de/de/anwendungen/reinwasser_fuer_astm_iii/ionenaustauscher/aus_metall_druckfest, Download vom 11.05.2013.
238. Todd MA, Staley RN, Kanellis MJ, Donly KJ, Wefel JS. Effect of a fluoride varnish on demineralization adjacent to orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:159-167.
239. 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.
240. van Gastel J, Teughels W, Quirynen M, Struyf S, Van Damme J, Coucke W, Carels C. Longitudinal changes in gingival crevicular fluid after placement of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;6:735-744.
241. van Gastel JL, Quirynen M, Teughels W, Coucke W, Carels C. Influence of bracket design on microbial and periodontal parameters in vivo. *J Clin Periodontol* 2007;34:423-431.
242. Weeks LM, Lescher NB, Barnes CM, Holroyd SV. Clinical evaluation of the Prophy-Jet as an instrument for routine removal of tooth stain and plaque. *J Periodontol* 1984;55:486-488.
243. Weber LW, Seidel HJ. Zusammenfassung der Befunde über die Morphologie der PROPHYpearls, ihre Anwendung auf Dentin und Schmelz, die Inhaltsstoffe vor und nach Anwendung auf Oberflächen. Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ulm 2003, URL:<http://www.kavo.de/Aktuelles/Studien/Prophylaxe.aspx>, Download vom 01. 07.2013.
244. 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.
245. Wendt SL, Mc Innes PM, Dickinson GL. The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater* 1992;8:181-184
246. Wheeler AW, Foley TF, Mamandras A. Comparison of fluoride release protocols for in-vitro testing of 3 orthodontic adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:301-309.

247. White HD, Peyton FA. Effects of air abrasive in prophylaxis. *J Am Dent Assoc* 1954;49:155-163.
248. Wieganda A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials-fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater* 2007;23:343-362.
249. Williams P, Fenwick A, Schou L, Adams W. A clinical trial of an orthodontic toothbrush. *Eur J Orthod* 1987;9:295-304.
250. Willmann DE, Norling BK, Johnson WN. A new prophylaxis instrument: effect on enamel alterations. *J Am Dent Assoc* 1980;101:923-925.
251. 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.
252. Wiltshire WA, Janse van Rensburg SD. Fluoride release from four visible light-cured orthodontic adhesive resins. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995;108:278-283.
253. Wimmer R. Effizienz dreier Prophylaxepulver zur Belagsentfernung - eine In-vitro-Untersuchung. Zahnmed. Diss., Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (2012).
254. Wimpenny J, Manz W, Szewzyk U. Heterogeneity in biofilms. *FEMS Microbiol Rev* 2000;24:661-671.
255. WTW/Fibel zur ionenselektiven Messung in der Online-Analytik, (ba75549de03 04/2007).
URL: www.wtw.com/downloads/manuals/ba75549d03_Online_ISE_Fibel.pdf,
Download vom 04.10.2011.
256. Ximénez-Fyvie LA, Haffajee AD, Socransky SS. Comparison of the microbiota of supra- and subgingival plaque in health and periodontitis. *J Clin Periodontol* 2000;27:648-657.
257. Zimmer B. Systematic decalcification prophylaxis during treatment with fixed appliances. *J Orofac Orthop* 1999;60:205-214.
258. Zimmer S. Kariesprophylaxe als multifaktorielle Präventionsstrategie. Zahnmedizinische Habilitation, Humboldt-Universität zu Berlin (2000).

9 ANHANG

9.1 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Die in dieser Studie verwendeten Pulver-Wasser-Strahlgeräte.
- Abb. 2 MULTIflex-Kupplung.
- Abb. 3 Die im Rahmen dieser Studie verwendeten Reinigungspulver.
- Abb. 4 Abfolge zur Herstellung und Lagerung der Prüfkörper.
- Abb. 5 Bearbeitungsvarianten der Prüfkörper jedes der untersuchten 7 Komposite.
- Abb. 6 Aluminiumhalterung und Delrin-Ring mit Nut zur Sicherung der Position.
- Abb. 7 Fluoridfreisetzung der unbestrahlten Referenzgruppe in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 8 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von ConTec LC in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 9 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Beauty Ortho Bond in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 10 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Transbond PLUS Color Change Adhesive in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 11 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Light Bond in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 12 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von Phase II in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 13 Fluoridkonzentrationen und Standardabweichungen von BonaBond plus LC in den ersten 20 Wochen.
- Abb. 14 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche für ConTec LC.
- Abb. 15 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche für Beauty Ortho Bond.
- Abb. 16 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche für Transbond PLUS Color Change Adhesive.
- Abb. 17 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche für Light Bond.

- Abb. 18 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche für Phase II.
- Abb. 19 Signifikanzanalyse der Fluoridkonzentrationen im Eluat nach der 20. Woche für BonaBond plus LC.
- Abb. 20 Zusammenfassende Darstellung der Fluoridkonzentrationen der Eluate aller untersuchten Komposite nach dem Intervall der 17. bis 20. Woche für die unbestrahlte Referenzgruppe und die verschiedenen Bearbeitungsvarianten.

9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Untersuchte Bracketadhäsive.
Tab. 2	Verarbeitungszeiten und -schritte.
Tab. 3	Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für ConTec LC.
Tab. 4	Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Beauty Ortho Bond.
Tab. 5	Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Transbond PLUS Color Change Adhesive.
Tab. 6	Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Light Bond.
Tab. 7	Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für Phase II.
Tab. 8	Signifikanztabelle zur Fluoridkonzentration im Eluat nach der 20. Woche für BonaBond plus LC.
Tab. 9	Fluoridkonzentration und Standardabweichung von ConTec LC für den gesamten Messzeitraum.
Tab. 10	Fluoridkonzentration und Standardabweichung von Beauty Ortho Bond für den gesamten Messzeitraum.
Tab. 11	Fluoridkonzentration und Standardabweichung von Transbond PLUS Color Change Adhesive für den gesamten Messzeitraum.
Tab. 12	Fluoridkonzentration und Standardabweichung von Light Bond für den gesamten Messzeitraum.
Tab. 13	Fluoridkonzentration und Standardabweichung von Phase II für den gesamten Messzeitraum.
Tab. 14	Fluoridkonzentration und Standardabweichung von BonaBond plus LC für den gesamten Messzeitraum.

ConTec LC

PWS	unbestrahlt	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro
Pulver	unbestrahlt	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder
Einstellung	unbestrahlt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1. Messung													
Fluoridkonz.	0,035*	0,042*	0,047*	0,039*	0,037*	0,064*	0,043*	0,048*	0,063*	0,051**	0,062*	0,057*	0,046*
Standard.	0,003	0,004	0,003	0,005	0,003	0,009	0,009	0,009	0,008	0,004	0,007	0,008	0,008
2. Messung													
Fluoridkonz.	0,030**	0,046*	0,097*	0,033*	0,039*	0,069*	0,059*	0,061*	0,118*	0,061*	0,054*	0,070*	0,063**
Standard.	0,003	0,003	0,009	0,002	0,003	0,006	0,006	0,009	0,010	0,011	0,002	0,007	0,004
3. Messung													
Fluoridkonz.	0,020*	0,038*	0,061**	0,033*	0,034*	0,053*	0,037*	0,041*	0,097*	0,027*	0,029*	0,036*	0,032*
Standard.	0,004	0,007	0,009	0,002	0,003	0,005	0,006	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004
4. Messung													
Fluoridkonz.	0,014*	0,034*	0,056*	0,020*	0,016*	0,050**	0,038*	0,035*	0,087*	0,020**	0,015*	0,013*	0,020*
Standard.	0,001	0,005	0,007	0,004	0,003	0,009	0,005	0,005	0,003	0,005	0,004	0,006	0,004
5. Messung													
Fluoridkonz.	0,014*	0,033*	0,074*	0,014*	0,019*	0,011*	0,029*	0,007*	0,084*	0,009*	0,012*	0,011*	0,014*
Standard.	0,002	0,005	0,005	0,001	0,001	0,004	0,006	0,004	0,004	0,005	0,003	0,005	0,004

Tab. 9 Fluoridkonzentrationen [ppm] und Standardabweichungen von **ConTec LC** für den gesamten Messzeitraum; Fluoridkonz.: mittelwertige Fluoridkonzentration [ppm]; Standard.: Standardabweichung; * Messwerte liegen im Bereich Mittelwert ± 2 Standardabweichungen; ** Messwerte liegen im Bereich Mittelwert ± 3 Standardabweichungen; n = 10.

Beauty Ortho Bond

PWS	unbestrahlt	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro
Pulver	unbestrahlt	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder
Einstellung	unbestrahlt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1. Messung													
Fluoridkonz.	2,35**	2,36*	2,24*	2,55*	2,36*	2,49*	2,68*	2,35*	2,67*	2,46*	2,51*	2,53*	2,48*
Standard.	0,16	0,21	0,16	0,19	0,09	0,24	0,22	0,26	0,14	0,13	0,24	0,17	0,19
2. Messung													
Fluoridkonz.	0,98**	1,69*	2,05*	1,42*	1,62*	1,53*	1,69*	1,62*	2,23*	1,62*	1,94*	1,86**	1,88**
Standard.	0,16	0,06	0,11	0,11	0,12	0,12	0,09	0,10	0,13	0,14	0,19	0,16	0,14
3. Messung													
Fluoridkonz.	0,95*	1,13*	1,07*	1,15*	1,16**	1,58*	1,68*	1,53*	1,56*	1,59*	1,60*	1,26*	1,36*
Standard.	0,16	0,17	0,15	0,14	0,11	0,12	0,16	0,10	0,11	0,21	0,12	0,22	0,22
4. Messung													
Fluoridkonz.	0,73**	1,16*	1,09*	1,01*	1,10*	1,29*	1,33*	0,87*	1,15*	1,07*	0,97*	0,94*	0,98*
Standard.	0,07	0,12	0,13	0,08	0,12	0,10	0,14	0,11	0,08	0,11	0,08	0,09	0,13
5. Messung													
Fluoridkonz.	0,53*	1,13*	1,43*	0,80*	0,98*	0,78*	0,73*	0,94*	1,27*	1,12*	0,85*	0,72*	0,82*
Standard.	0,08	0,09	0,19	0,08	0,11	0,06	0,10	0,12	0,15	0,10	0,09	0,08	0,10

Tab. 10 Fluoridkonzentrationen [ppm] und Standardabweichungen von **Beauty Ortho Bond** für den gesamten Messzeitraum; Fluoridkonz.: mittelwertige Fluoridkonzentration [ppm]; Standard.: Standardabweichung; * Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 2 Standardabweichungen; ** Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 3 Standardabweichungen; n = 10.

Transbond PLUS Color Change Adhesive

PWS	unbestrahlt	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro
Pulver	unbestrahlt	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder
Einstellung	unbestrahlt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1. Messung													
Fluoridkonz.	10,46*	11,32**	11,19*	11,29*	11,41*	11,45*	10,42*	10,74*	11,19*	13,31*	11,63**	12,04*	11,92**
Standard.	0,53	0,50	0,39	0,44	0,46	0,43	0,53	0,38	0,35	0,48	0,41	0,37	0,39
2. Messung													
Fluoridkonz.	3,76*	4,48*	2,48*	4,62*	4,56*	4,61*	5,52*	4,50*	3,47*	4,10**	5,20*	5,48**	4,47*
Standard.	0,39	0,21	0,23	0,26	0,32	0,15	0,44	0,38	0,21	0,39	0,36	0,47	0,46
3. Messung													
Fluoridkonz.	3,07*	2,31*	1,90**	2,56*	2,89*	2,26*	2,64**	2,39*	1,98*	2,82**	2,42*	2,89*	2,68*
Standard.	0,20	0,20	0,13	0,17	0,18	0,07	0,17	0,09	0,06	0,19	0,17	0,22	0,19
4. Messung													
Fluoridkonz.	1,93*	1,37*	1,73*	2,07*	2,27*	2,22**	2,20*	1,94*	1,43**	2,06*	1,75*	2,18*	1,79*
Standard.	0,25	0,21	0,14	0,12	0,14	0,12	0,06	0,17	0,12	0,14	0,12	0,12	0,10
5. Messung													
Fluoridkonz.	1,66*	1,53*	1,49*	1,85*	1,74*	2,03*	1,80*	1,80*	1,18*	1,74*	1,46**	1,22*	1,37*
Standard.	0,18	0,15	0,11	0,17	0,13	0,15	0,07	0,07	0,14	0,18	0,23	0,14	0,15

Tab. 11 Fluoridkonzentrationen [ppm] und Standardabweichungen von **Transbond PLUS Color Change Adhesive** für den gesamten Messzeitraum; Fluoridkonz.: mittelwertige Fluoridkonzentration [ppm]; Standard.: Standardabweichung; * Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 2 Standardabweichungen; ** Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 3 Standardabweichungen; n = 10.

Light Bond

PWS	unbestrahlt	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro
Pulver	unbestrahlt	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder
Einstellung	unbestrahlt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1. Messung													
Fluoridkonz.	1,73*	1,65*	1,82*	1,85*	1,70*	2,03*	1,77*	1,94*	2,35*	1,84*	1,81*	1,99**	2,05*
Standard.	0,27	0,18	0,15	0,14	0,30	0,20	0,23	0,07	0,31	0,14	0,12	0,09	0,19
2. Messung													
Fluoridkonz.	0,29*	0,35*	0,49*	0,27*	0,30**	0,36*	0,44*	0,48*	0,72*	0,34*	0,43*	0,40*	0,41**
Standard.	0,05	0,03	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,04	0,07
3. Messung													
Fluoridkonz.	0,21**	0,24*	0,40**	0,19*	0,22*	0,19*	0,21*	0,30*	0,47*	0,25*	0,21*	0,20*	0,21*
Standard.	0,04	0,02	0,06	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,05	0,02
4. Messung													
Fluoridkonz.	0,14*	0,20**	0,30*	0,18**	0,16*	0,21*	0,15*	0,38*	0,44*	0,21*	0,18*	0,16*	0,18*
Standard.	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,03	0,05
5. Messung													
Fluoridkonz.	0,09*	0,21*	0,25*	0,11*	0,14*	0,21*	0,17*	0,22*	0,39*	0,11*	0,12*	0,13*	0,17*
Standard.	0,003	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03

Tab. 12 Fluoridkonzentrationen [ppm] und Standardabweichungen von **Light Bond** für den gesamten Messzeitraum; Fluoridkonz.: mittelwertige Fluoridkonzentration [ppm]; Standard.: Standardabweichung; * Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 2 Standardabweichungen; ** Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 3 Standardabweichungen; n = 10.

Phase II

PWS	unbestrahlt	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro
Pulver	unbestrahlt	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder
Einstellung	unbestrahlt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1. Messung													
Fluoridkonz.	2,51*	2,66*	2,49*	2,42*	2,57*	2,70*	2,71*	3,00*	2,66*	2,48*	3,00*	2,72*	2,91*
Standard.	0,24	0,28	0,25	0,26	0,21	0,20	0,17	0,19	0,15	0,15	0,14	0,19	0,14
2. Messung													
Fluoridkonz.	0,18*	0,27*	0,36*	0,24**	0,27*	0,25*	0,18*	0,32*	0,47*	0,32*	0,25*	0,27*	0,42*
Standard.	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04
3. Messung													
Fluoridkonz.	0,11*	0,21*	0,20*	0,14*	0,17*	0,14*	0,13*	0,13*	0,33*	0,22*	0,23*	0,23*	0,23*
Standard.	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
4. Messung													
Fluoridkonz.	0,06*	0,14*	0,19**	0,09**	0,09*	0,18*	0,16*	0,17*	0,27*	0,16*	0,10*	0,20*	0,18*
Standard.	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
5. Messung													
Fluoridkonz.	0,04*	0,13*	0,21**	0,10*	0,09*	0,10*	0,12*	0,15*	0,41*	0,13*	0,06*	0,19*	0,12*
Standard.	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Tab. 13 Fluoridkonzentrationen [ppm] und Standardabweichungen von **Phase II** für den gesamten Messzeitraum; Fluoridkonz.: mittelwertige Fluoridkonzentration [ppm]; Standard.: Standardabweichung; * Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 2 Standardabweichungen; ** Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 3 Standardabweichungen; n = 10.

BonaBond plus LC

PWS	unbestrahlt	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	Prophy-Mate neo	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro	easyjet pro
Pulver	unbestrahlt	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder	FLASH pearl	FLASH pearl	prophylaxis powder	prophylaxis powder	Clinpro Prophy Powder	Clinpro Prophy Powder
Einstellung	unbestrahlt	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1. Messung													
Fluoridkonz.	0,21*	0,23*	0,23*	0,21*	0,23*	0,24*	0,31*	0,20*	0,37*	0,32*	0,37*	0,33*	0,26**
Standard.	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,06	0,03	0,06	0,05
2. Messung													
Fluoridkonz.	0,09*	0,10**	0,14*	0,09*	0,13**	0,21*	0,20*	0,26*	0,27*	0,18*	0,19*	0,19**	0,22*
Standard.	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
3. Messung													
Fluoridkonz.	0,071*	0,095*	0,166*	0,063*	0,070*	0,074**	0,084*	0,104**	0,203*	0,161*	0,077*	0,073*	0,095*
Standard.	0,011	0,018	0,014	0,008	0,010	0,011	0,004	0,009	0,008	0,021	0,012	0,010	0,022
4. Messung													
Fluoridkonz.	0,071*	0,063**	0,116*	0,082**	0,070*	0,070*	0,058*	0,078*	0,146*	0,051*	0,064*	0,075*	0,061*
Standard.	0,007	0,006	0,011	0,009	0,006	0,004	0,004	0,009	0,015	0,003	0,006	0,008	0,003
5. Messung													
Fluoridkonz.	0,013*	0,054*	0,091*	0,042*	0,038*	0,043**	0,066*	0,043*	0,080*	0,029*	0,032*	0,054*	0,050**
Standard.	0,008	0,008	0,003	0,007	0,007	0,010	0,008	0,009	0,007	0,003	0,006	0,005	0,007

Tab. 14 Fluoridkonzentrationen [ppm] und Standardabweichungen von **BonaBond plus LC** für den gesamten Messzeitraum; Fluoridkonz.: mittelwertige Fluoridkonzentration [ppm]; Standard.: Standardabweichung; * Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 2 Standardabweichungen; ** Messwerte liegen im Bereich Mittelwert \pm 3 Standardabweichungen; n = 10.

9.3 Materialliste

1. Ringe aus fluoridfreiem Kunststoff: Delrin[®], DuPont, Hamm-Uentrop.
2. Kisol Folie: Art.-Nr. 10-0207, MDS GmbH, Buseck.
3. Glasplatten zwischen denen Prüfkörper hergestellt wurden: Art.-Nr.: 724, Becht, Offenburg.
4. LED Polymerisationsgerät: bluephase[®] 20i, Art.-Nr.: 613752, Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen.
5. Polypropylen-Röhrchen: Art.-Nr. 187262 (Durchmesser 17 mm, Höhe 100 mm, mit Stopfen), Th. Geyer Berlin GmbH, Berlin.
6. Brutschrank: Fa. Heraeus, Typ: B6060, Hanau.
7. Transferpette (Einkanal-Pipette) 0,5 – 5,0 ml, Seriennummer: 02H78238, Brand GmbH, Wertheim.
8. Reagenzglasständer: Kat.-Nr. 38247116215, Brand, Wertheim.
9. FLASH pearl: Bestellnr.: Y900-698, Lot Nr.: 6069/EXD, NSK Europe GmbH, Eschborn.
10. prophylaxis powder: Art.-Nr.: 03140002/1, Lot Nr.: 2804, mectron Deutschland Vertriebs GmbH, Köln Dellbrück.
11. Clinpro[™] Prophy Powder: Art.-Nr.: 67001, Lot Nr.: 376786, 3M ESPE AG, Seefeld.
12. Tectosan[™]: Art.-Nr.: 7500-805, Lot Nr.: 0167605, BonaDent GmbH, Frankfurt.
13. BonaBond[®] plus LC: Art.-Nr.: 7500-301, Lot Nr.: 635764, BonaDent GmbH, Frankfurt.
14. ConTec LC: REF 163-511-00, Lot Nr.: 64911, DENTAURUM, Ispringen.
15. Einmalspatel: Art.-Nr.: DC-702030, Ortho Organizers GmbH, Lindenberg.
16. Filterpapier: Filter Discs, Bestellnr.: FT-3-303-055, Sartorius AG, Göttingen.
17. Aluminiumhalterung: Spezialanfertigung, Charité – Universitätsklinikum Berlin: Campus Benjamin Franklin.
18. Ionensensitive Fluoridelektrode: HI 4110, HANNA Instruments Deutschland GmbH, Kehl am Rhein.

-
19. Mikroprozessorgesteuertes Hand-pH-Meter: HI 9125, HANNA Instruments Deutschland GmbH, Kehl am Rhein.
 20. TISAB Lösungen: HI 4010-00, TISAB II, HANNA Instruments Deutschland GmbH, Kehl am Rhein.
 21. Kalibrierlösungen: HI 4010-10, 10 ppm Fluorid-Standard mit TISAB II.
HI 4010-11, 1 ppm Fluorid-Standard mit TISAB II.
HI 4010-12, 2 ppm Fluorid-Standard mit TISAB II,
HI 4010-03, 1000 ppm Fluorid-Standard,
HANNA Instruments Deutschland GmbH, Kehl am Rhein.
 22. Prophy-Mate neo: Bestellnr.: Y135-031, NSK Europe GmbH, Eschborn.
 23. easyjet pro: Bestellnr.: 05150021, mectron Deutschland Vertriebs GmbH, Köln Dellbrück.
 24. Beauty Ortho Bond: Art.-Nr.: 1494, Lot Nr.: 050912, SHOFU DENTAL GmbH, Ratingen.
 25. Transbond™ PLUS Color Change Adhesive: REF 712-101, Lot Nr.: 9CE, 3M Unitek GmbH, Seefeld.
 26. Light Bond™: Art.-Nr.: 001-7001, Lot Nr.: 0906780, Reliance Orthodontic Products, Inc., Itasca, 60143 Illinois, USA.
 27. Phase II®: Lot Nr. Part A: 0903686, Lot Nr. Part B: 0903670, Reliance Orthodontic Products, Inc., Itasca, 60143 Illinois, USA.
 28. Behandlungseinheit mit Turbinenanschluss: Sirona M1+.
 29. MULTIflex-Kupplung: MULTIflex-LUX-Kupplung 465 LRN, KaVo Dental GmbH, Biberach.
 30. Rosenbohrer: Bestellnr.: 1.204.008, Komet, Lemgo.
 31. Skalpell: FEATHER DISPOSABLE SCALPEL, FEATHER, Osaka, Japan.
 32. Vollentsalzer: Aqua Purificator G 7795/1, Miele, Gütersloh.
 33. Ionenaustauscher: Mischbett TKA DI 1500-DI 15000, TKA, Niederelbert.

9.4 Danksagung

Herrn Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann danke ich sehr herzlich für die Überlassung dieses Themas, insbesondere aber für die engagierte Unterstützung und das ständige Interesse am Fortgang der Arbeit.

Herrn Dr. R. Müller-Hartwich und Herrn Dr. R. Gittner danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und grafischen Darstellung meiner Daten.

Herrn Dipl.-Math. K. Lenz vom Institut für Biometrie gilt mein Dank für die Beratung in Fragen zur statistischen Auswertung und grafischen Darstellung.

Herrn MTA R. Toll danke ich für seinen überaus hilfsbereiten Einsatz bei der technischen Betreuung.

Den Firmen Ivoclar Vivadent GmbH, NSK Europe GmbH, mectron Deutschland Vertriebs GmbH, 3M ESPE AG, BonaDent GmbH, DENTAURUM, SHOFU DENTAL GmbH, Reliance Orthodontic Products gilt mein Dank für die kostenlos zur Verfügung gestellten Materialien und Leihgeräte.

Besonderer Dank gilt meinem Großvater Dr. Christian Lange und meiner Frau Lydia für die intensive Unterstützung und Fürsorge in den vergangenen Jahren.

9.5 Lebenslauf

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

9.6 Publikationsliste

- Philipp Schwabe, Ralf Müller-Hartwich, Paul-Georg Jost-Brinkmann. Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven, Eine In-vitro-Studie. Informationen aus Orthodontie und Kieferorthopädie – IOK. 2013.

9.7 Erklärung

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Philipp Schwabe, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven“ 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) 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.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, 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

Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Philipp Schwabe hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation:

Philipp Schwabe, Ralf Müller-Hartwich, Paul-Georg Jost-Brinkmann. Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven, Eine In-vitro-Studie. Informationen aus Orthodontie und Kieferorthopädie – IOK. 2013.

Beitrag im Einzelnen (bitte kurz ausführen):

Herr Schwabe hat sämtliche Experimente durchgeführt, Dr. Müller-Hartwich hat ihn bei der statistischen Auswertung unterstützt.

Das Studiendesign und die Einführung in die Methoden: Prof. Jost-Brinkmann.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin