

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

DISSERTATION

Vergleich verschiedener Präparate zur Prävention von Demineralisationen im Bracketumfeld

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der

Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Stefanie Louise Coordes

aus Oranienburg

Gutachter:

1.

Prof. Dr. P.-G. Jost-Brinkmann

2.

Prof. Dr. med. dent. Stefan Zimmer

3.

Priv.-Doz. Dr. med. dent. Ekaterina Paschos

Datum der Promotion: 22.03.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Literaturübersicht.....	7
2.1	Risikofaktoren bei Patienten mit Multibracket-Apparaturen	7
2.1.1	Erschwerte Mundhygiene bei festsitzenden Apparaturen.....	7
2.1.2	Verändertes Keimspektrum bei Multibracket-Patienten.....	9
2.2	Prophylaxe von Initiailläsionen bei Multibracket-Patienten	12
2.2.1	Prophylaxe durch individuelle Mundhygienemaßnahmen	12
2.2.2	Prophylaxe durch professionelle Mundhygienemaßnahmen	14
2.2.3	Prophylaxe durch Fluoride.....	15
2.2.4	Prophylaxe durch patientenunabhängige Mundhygienemaßnahmen.....	16
2.3	Studien zu den in dieser Arbeit verwendeten Produkten	20
3	Ziel und Fragestellungen der Arbeit.....	22
4	Materialien und Methoden	23
4.1	Auswahl und Vorbereitung der Zähne	23
4.2	Verwendete Materialien	26
4.3	Künstliche Alterung.....	31
4.4	Putzmaschine	33
4.5	Herstellung der Zahnpasten-Suspension	36
4.6	Erzeugung künstlicher Kariesläsionen.....	37
4.7	Vorbereitung der Proben zur Auswertung	38
4.8	Stereomikroskopische Untersuchung.....	40
4.9	Statistische Auswertung	41
4.10	Bestimmung des Methodenfehlers nach Dahlberg	43
4.11	Grafische Darstellung als Boxplots.....	44
5	Ergebnisse.....	46
5.1	Vergleich der Kontrollseiten.....	46
5.2	Vergleich der versiegelten Zahnflächen mit den Kontrollflächen	49
5.2.1	ProSeal.....	49
5.2.2	LightCure	52
5.2.3	Seal&Protect.....	55
5.2.4	Tiefenfluorid.....	57
5.2.5	ProtectoF	60

5.2.6	FluorProtector.....	62
5.3	Vergleich zwischen den verschiedenen Produkten	65
5.3.1	Vergleich der mittleren Läsionstiefen.....	65
5.3.2	Vergleich der demineralisierten Flächen	66
5.4	Methodenfehler nach Dahlberg	67
6	Diskussion	68
6.1	Diskussion der Fragestellung	68
6.2	Diskussion der Materialien und Methoden.....	69
6.2.1	Verwendete und untersuchte Materialien	69
6.2.2	Zahnproben	71
6.2.3	Stresssimulation: Wasserlagerung und thermozyklische Belastung.....	72
6.2.4	In-vitro-Putzapparatur.....	73
6.2.5	Demineralisationslösung	75
6.2.6	Auflichtmikroskopie.....	76
6.3	Diskussion der Ergebnisse	76
7	Schlussfolgerung	84
8	Zusammenfassungen	85
8.1	Zusammenfassung	85
8.2	Summary	86
9	Literaturverzeichnis	88
10	Anhang	102
10.1	Verwendete Materialien und Geräte.....	102
10.2	Abbildungsverzeichnis.....	103
10.3	Tabellenverzeichnis.....	106
11	Danksagung	107
12	Lebenslauf.....	108
	Erklärung.....	109

1 Einleitung

Ein tiefgreifendes Problem bei der Multibracket-Behandlung von Jugendlichen besteht in der erschwerten Mundhygiene. Die festsitzende Apparatur stellt eine erheblich vergrößerte Retentionsfläche für Speisereste und den Biofilm dar [93, 161, 159]. Die damit verbundene erhöhte Gefahr der Entstehung von White Spots gehört zu den Risiken, über die jeder Patient vor einer Multibracket-Behandlung aufgeklärt werden sollte. Gerade bei den zumeist jugendlichen Patienten fehlt es häufig am Verständnis für die Bedeutung der in ihrer Mundhöhle stattfindenden Prozesse und Vorgänge hinsichtlich der vom Biofilm induzierten Kariesentstehung. Bei schlechter Mundhygiene wird eine erhöhte Biofilmmakkumulation um die Bracketbasen gefunden, woraus innerhalb weniger Wochen eine Demineralisation entstehen kann [64]. Selbst bei Patienten, die eine sehr gute Mundhygiene betreiben, kann eine Manifestation in Form von White-Spot-Läsionen oder sogar kariösen Defekten in schwierig zu erreichenden oder unzugänglichen Bereichen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden [166].

Für kieferorthopädische Patienten gibt es verschiedene Hilfsmittel, die die tägliche Mundhygiene erleichtern und effektiver gestalten können. Neben den herkömmlichen Hilfsmitteln, wie speziell für orthodontische Zwecke geformte Zahnbürsten, Monobüschelbürsten oder fluoridierende Mundspüllösungen, erscheint es sinnvoll, präventive Maßnahmen einzusetzen, die nicht die Mitarbeit des Patienten voraussetzen. Gerade zu diesem Zweck macht man sich die kariesprotektive Wirkung von Fluoriden zunutze.

Die von Zahnärzten durchgeführte Applikation von Fluoridlacken erreicht eine effektive Reduzierung der Entstehung von Demineralisationen um die Brackets [61, 163, 165, 206, 235]. Eine längerfristige Kariesprävention, sowie die Remineralisation von schon vorhandenen White Spots kann sich wegen der nur befristeten Freisetzung von Fluoridionen nicht einstellen [94, 168]. Laut einiger Studien kann eine kontinuierliche niedrig dosierte Fluoridionenzufuhr einen höheren kariostatischen Effekt erreichen [34, 168]. Unter diesem Aspekt werden von verschiedenen Firmen Glatflächenversiegler, Bracketumfeldversiegler und Fluoridlacke zur Kariesprävention angeboten.

In dieser In-vitro-Studie sollen nun sechs verschiedene und zum Teil häufig in den Praxen verwendete Fluorid freisetzende Präparate hinsichtlich ihrer Effektivität und

kariesprotektiven Wirkung untersucht und miteinander verglichen werden. Es gilt außerdem zu klären, wie abrasive, thermische und chemische Vorgänge Einfluss auf die Schutzwirkung dieser Materialien nehmen.

Die drei Fluoridlacke Tiefenfluorid[®] von Humanchemie[®], ProtectoF[®] von BonaDent[™] und FluorProtector[®] von Ivoclar Vivadent[®] sind dabei allein für die Fluoridierung der Zahnflächen gedacht. Die drei Versiegler ProSeal[™] von Reliance[®], LightCure[®] von Dental Technologies[®] und Seal&Protect[™] von Dentsply[®] können hingegen auch mit jeglichem Adhäsiv kombiniert werden und dabei den Haftvermittler ersetzen.

Die Symbole zur rechtlichen Markierung werden in der weiteren Arbeit nicht weiter verwendet.

In der vorliegenden Arbeit werden sowohl Versiegler als auch Fluoridlacke miteinander verglichen. Die verwendeten Materialien haben unterschiedliche Verarbeitungsabläufe und somit auch zum Teil verschiedene Wirkungsweisen. Das erwünschte Ziel ist bei allen Produkten die Vermeidung von White-Spot-Läsionen bei der Behandlung mit festsitzenden Multibracket- Apparaturen.

2 Literaturübersicht

2.1 Risikofaktoren bei Patienten mit Multibracket-Apparaturen

2.1.1 Erschwerte Mundhygiene bei festsitzenden Apparaturen

Korrekturen von Zahnfehlstellungen erfordern häufig umfangreiche Zahnbewegungen und das Ausformen des Zahnbogens. Festsitzende Multibracket-Apparaturen ermöglichen diese Korrekturen [65]. Die festsitzende kieferorthopädische Therapie birgt trotz zahlreicher Weiterentwicklungen der verwendeten Materialien und Präventionsmaßnahmen immer noch ein erhöhtes Risiko für Schmelzdemineralisationen [140].

Die Demineralisierung des Schmelzes stellt ein multifaktorielles Problem dar [42]. Bänder, Brackets, eingesetzte Bögen und zusätzliche Bewegungs- und Verankerungselemente bilden in der Mundhöhle eine vergrößerte Retentionsfläche. Diese führt zu einer erhöhten Akkumulation von Speiseresten und bakterieller Plaque [64] und erschwert gleichzeitig die Mundhygiene [11, 105, 147, 148]. Plaque sammelt sich besonders unter Bändern, an denen der Zement ausgewaschen wurde [150], sowie am Übergang Bracket-Adhäsiv-Schmelz [98, 105, 123]. Die größten Plaqueansammlungen befinden sich im gingivalen Bereich [46, 93] und im Schatten des Bogens [103].

Bei unzureichender Mundhygiene können sich innerhalb weniger Wochen unter den Plaqueschichten Schmelzdemineralisationen, so genannte White-Spot-Läsionen, bilden [166]. Diese Zeitspanne ist bisweilen kürzer als die von den meisten Kieferorthopäden bevorzugten Behandlungsintervalle [94, 158]. *O'Reilly* und *Featherstone* haben nachgewiesen, dass bereits einen Monat nach der Bracketbefestigung oberflächliche Schmelzdemineralisationen im Bracketumfeld auftreten können [156]. Die kariesfördernden Faktoren sind während der aktiven Behandlungsphase um ein Vielfaches erhöht, wohingegen die kariesprotektiven Faktoren unverändert bleiben [105].

Die Häufigkeit von Initialläsionen bei Multibracket-Patienten variiert in der Literatur zwischen ca. 2 % und 96 % [123]. *Mitchell* schließt aus dieser Variationsbreite, dass die Demineralisationen durch individuelle Faktoren wie Schmelzstruktur, Mundhygiene, Speichelzusammensetzung, -fließrate und Ernährung beeinflusst werden [148]. *Jost-Brinkmann et al.* konnten zeigen, dass nach einer feststehenden Therapie an 17,5 % der zuvor naturgesunden Zähne White-Spot-Läsionen aufgetreten waren. In dieser Untersuchung wurden Fluoridierungsmaßnahmen angewendet [123]. In einer Studie von *Øgaard et al.* wiesen 50 % der Patienten nach ihrer Behandlung Initialläsionen auf. Im Gegensatz zu *Jost-Brinkmann et al.* erhielten diese Probanden keine Fluoridierungsmaßnahmen [123, 167]. *Kukleva et al.* zeigten eine Altersabhängigkeit des Demineralisationsrisikos. Bei Patienten mit einer Multibracket-Apparatur im Alter von 11 bis 15 Jahren war das Demineralisationsrisiko signifikant höher als bei 19- bis 24-Jährigen. White-Spot-Läsionen zeigten sich bei der jüngeren Altersgruppe an 52 % ihrer bukkalen Flächen, in der älteren Gruppe waren es nur 7 % [134]. Dies kann durch eine mangelnde Mundhygiene, wie sie häufiger bei Jugendlichen auftritt [179], und durch die noch fehlende Schmelzreifung erklärt werden [182]. Die differierenden Studienergebnisse zur Frequenz von Initialläsionen nach feststehender kieferorthopädischer Behandlung werden durch unterschiedliche bestehende Kariesläsionen, verschiedene Ernährungs- und Mundhygienegewohnheiten, Fluoridversorgung der Probanden sowie durch verschiedene Erhebungsverfahren der Studien erklärt [140].

Zimmer und *Rottwinkel* untersuchten in ihrer Studie erwachsene Probanden und benannten folgende Risikofaktoren für die Entwicklung von Schmelzdemineralisationen: Ein hoher Plaqueindex, ein hoher approximaler Plaqueindex, ein DMFT-/dmft-Index von 3-4, bereits bestehende Kariesläsionen und gingivale Rezessionen [256].

Die erhöhte Plaqueakkumulation bei Multibracket-Patienten geht mit der Bildung organischer Säuren bei der Zersetzung niedermolekularer Kohlenhydrate durch azidogene Bakterien und einem Absinken des pH-Wertes einher. Bei diesem Vorgang sind vor allem *Streptococcus mutans* und Laktobazillen als spezifische kariogene Mikroorganismen beteiligt [207]. In einer klinischen Studie von *Lundström* und *Krasse* konnte nachgewiesen werden, dass trotz

Mundhygieneunterweisung vor Therapiebeginn eine Zunahme an Streptococcus mutans und Laktobazillen während einer kieferorthopädischen Behandlung stattfand [141].

Die initiale Kariesläsion ist ein Produkt von dynamischen De- und Remineralisationsphasen an der Zahnoberfläche, wobei die Demineralisation überwiegt [108]. Das bedeutet, dass sich bei einem absinkenden pH-Wert im Schmelz mehr Kalzium- und Phosphat-Ionen lösen und in die Plaque abwandern als aus dem Speichel in der Zahnhartsubstanz aufgenommen werden. White-Spot-Läsionen sind die ersten klinisch sichtbaren Anzeichen einer Karies. Das Ausmaß der Demineralisation steigt mit der Tiefenausdehnung der Schmelzläsion. Das wichtigste Merkmal der initialen Schmelzkaries ist, dass eine dünne intakte Schmelzoberfläche den beginnenden kariösen Defekt bedeckt. Erst nach einiger Zeit und fortschreitendem Prozess wird die Oberfläche rau und stumpf. Im Anfangsstadium ist die Initialläsion reversibel und nimmt somit klinisch eine besondere Rolle ein [141].

Um Demineralisationen vorzubeugen, wird zusätzlich zur täglichen Zahnreinigung eine Verwendung fluoridhaltiger Mundspülungen empfohlen [22, 91]. Bei Patienten mit mangelnder Mundhygiene zeigt eine zusätzliche Anwendung von Fluoridspülungen keine Wirkung [90, 167]. White-Spot-Läsionen remineralisieren häufig verzögert oder gar nicht und sind zum Teil noch Jahre nach der Entfernung der Brackets an den bukkalen Oberflächen der Zähne sichtbar [159].

Zusätzlich zur individuellen Zahnreinigung durch die Patienten sind präventive Maßnahmen, die nicht die Compliance des Patienten benötigen, erstrebenswert und notwendig. Die professionelle Applikation von fluoridhaltigen Lacken und Versiegeln reduziert die Prävalenz von Demineralisationen [61, 163, 165, 206, 235].

2.1.2 Verändertes Keimspektrum bei Multibracket-Patienten

Das Ernährungsverhalten der Patienten kann sich durch das Tragen einer festsitzenden Apparatur verändern [209]. Es wird weichere Nahrung konsumiert,

um den Halt der Brackets nicht zu gefährden und um einem unangenehmen Spannungs- und Druckgefühl beim Essen auszuweichen. Die mechanische Reinigungswirkung von Lebensmitteln wie Karotten und Äpfeln und die durch diese Lebensmittel geförderte Speichelproduktion sind vermindert [50].

Eine Multibracket-Apparatur führt zu einer vermehrten Bakterienanlagerung durch zusätzliche Retentionsstellen und zu einer Veränderung des physiologischen Keimschemas. Das bedeutet, es kommt zu einer Verschiebung der bakteriellen Zusammensetzung des Biofilms [36]. Insbesondere bei inadäquater Mundhygiene kann es zu inflammatorischen Reaktionen kommen [50, 63, 174]. Es tritt eine stärkere Konzentration von säurebildenden Bakterien auf. Durch deren Stoffwechsel wird der pH-Wert gesenkt und das Milieu für eine weitere Anreicherung säuretoleranter Bakterien stabilisiert. Gleichzeitig nehmen die extra- und intrazellulären Polysaccharide zu [15]. Zu den säuretoleranten Bakterien gehören *Streptococcus mutans* und Laktobazillen [2, 29, 50, 82, 198, 203]. Für Laktobazillen werden durch eine Multibracket-Apparatur ideale Wachstumsbedingungen geschaffen. Diese Bakterien vermehren sich in jeglichen Retentionsnischen, in kariösen Vertiefungen ebenso wie an Bändern oder Brackets [198]. Das gleiche gilt in abgeschwächter Form für den Keim *Streptococcus mutans* [50, 143, 194, 202].

Karies wird allgemein durch die gesamte säurebildende Flora verursacht. Hauptverursachende Bakterien sind vor allem *Streptococcus mutans* und *sobrinus* sowie die Laktobazillen [2]. Patienten mit einer festsitzenden Apparatur weisen ein verändertes Keimspektrum mit einer erhöhten Anzahl kariesfördernder Bakterien auf und sind so einem erhöhten Kariesrisiko ausgesetzt [254]. *Corbett et al.* zeigten in ihrer Studie, dass kariesfreie beänderte Patienten deutlich mehr *Streptococcus mutans* in ihrer Plaque aufweisen als nicht beänderte Patienten [50]. *Freundorfer et al.* und *Miethke et al.* bestätigten dieses Ergebnis in ihren Studien [86, 145]. Laut *Rosenbloom* und *Tinanoff* ist die Konzentration von *Streptococcus mutans* im Speichel während der aktiven Behandlungsphase mit festsitzenden Apparaturen bis zu viermal höher als vor der Behandlung oder während der Retentionsphase [194]. Beim Einsetzen der orthodontischen Apparatur wird das Bakterienreservoir zerstört. Die Anzahl der Mutans Streptokokken wird dadurch vorübergehend gesenkt. Nach drei Monaten

Tragedauer steigt die Bakterienpopulation jedoch weit über den Ausgangswert [105]. Patienten mit herausnehmbaren Geräten weisen geringere Zahlen von *Streptococcus mutans* auf als Patienten mit festsitzenden Apparaturen [203].

Im Speichel steigt die Anzahl an *Streptococcus mutans* beinahe exponentiell mit der Anzahl der verwendeten Bänder und Brackets [202]. Durch das zunehmende lokale Bakterienwachstum erhöht sich der orale Infektionsspiegel. Somit stieg in einer Arbeit von *Scheie et al.* die Anzahl der Mutans Streptokokken in der Plaque auch an den nicht bebänderten und nicht beklebten Zähnen der Patienten an, die mit acht und mehr Brackets beziehungsweise Bändern versorgt waren [202].

Nach abgeschlossener Behandlung sinkt die Anzahl der oralen Speichelkeimzahlen wieder auf ein vergleichbares Niveau wie bei unbehandelten gleichaltrigen Patienten [194]. Auch das Keimspektrum kehrt zur Ausgangssituation zurück. *Rosenbloom* und *Tinanoff* bestätigten dies in ihrem Vergleich von *Streptococcus mutans*-Werten des Speichels von Patienten, die sich in der aktiven Behandlungsphase, in der Retention und nach der Retentionsphase befanden sowie einer Kontrollgruppe ohne jegliche kieferorthopädische Apparatur. Es zeigte sich, dass lediglich die Patienten mit einer Multibracket-Apparatur in situ erhöhte *Streptococcus-mutans*-Werte aufwiesen. Bei allen anderen Gruppen, selbst bei Patienten mit festsitzenden oder herausnehmbaren Retainern, waren die Mutans-Streptokokken-Zahlen deutlich geringer als bei Multibracket-Patienten [194]. *Heintze et al.* schlossen daraus, dass aufgrund einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung keine langfristige Erhöhung der *Streptococcus-mutans*-Werte zu erwarten ist [103]. Bei einer Behandlungsdauer von durchschnittlich zwei Jahren haben die kariogenen Bakterien bei inadäquater Mundhygiene jedoch ausreichend Zeit kariöse Läsionen zu bilden, zumal bei erhöhten *Streptococcus-mutans*-Zahlen und entsprechenden Retentionsnischen kariöse Prozesse schneller voranschreiten [26, 155].

2.2 Prophylaxe von Initialläsionen bei Multibracket-Patienten

Für den Kieferorthopäden stellt die Prävention von Initialläsionen beziehungsweise White Spots während einer Multibracket-Therapie eine Herausforderung dar [16]. Irreversible und unästhetische Läsionen sind weder für den Kieferorthopäden noch den Patienten akzeptabel [116].

White Spots können sich in zwei gegensätzliche Richtungen entwickeln. Aus ihnen kann eine profunde Läsion resultieren, aber sie können auch vollständig remineralisieren. Etliche Studien berichten über Möglichkeiten, die Entstehung von White Spots bei Patienten mit festsitzenden Apparaturen zu verhindern beziehungsweise zu reduzieren [43, 92, 101, 116, 225, 234].

Die verschiedenen Möglichkeiten der Prävention sind:

- Individuelle Mundhygienemaßnahmen [33, 66, 71, 104, 120, 133]
- Fluoride in unterschiedlichen Darreichungsformen [22, 23, 58, 162, 163, 165, 199, 208, 235]
- Versiegelung der Glattflächen [41, 44, 61, 85, 116, 122, 208]
- Ernährungslenkung [74, 107]
- Professionelle Zahnreinigung [14, 117, 124, 154]
- Chemische Keimzahlreduktion [4, 31, 89, 141, 164].

2.2.1 Prophylaxe durch individuelle Mundhygienemaßnahmen

Durch die Applikation einer festsitzenden Apparatur wird der Zugang zu manchen Bereichen der Mundhöhle und den Zähnen erschwert [150]. Es werden zusätzlich künstliche Plaqueretentionsstellen geschaffen, die die nötige Zahnpflege für die Patienten erschweren [24, 32, 233]. Nahrungsbestandteile und Plaque können länger auf der Zahnoberfläche verweilen [66, 91, 159, 166, 167, 248]. Die Beurteilung des Plaquebefalls sowie die Motivation und Instruktion zur zweckmäßigen Mundhygiene sind ein wichtiger Bestandteil einer kieferorthopädischen Behandlung. Durch regelmäßige Instruktion, Kontrolle des

Lernerfolges und Anwendung spezieller Fluoridpräparate kann die Mundhygiene verbessert beziehungsweise das Kariesrisiko gesenkt werden [23, 90].

Die Ursache von Karies sind Biofilme mit saurem pH-Wert [171, 239]. Die mechanische Plaqueentfernung ist die Basis der Kariesprophylaxe. Sie erfolgt mit Zahnbürste, Zahnpaste und zusätzlichen Hilfsmitteln wie Zahnseide, Monobüschel- oder Interdentalbürsten zur Reinigung des Bracketumfelds und der Interdentalräume [133]. Ein Zusammenhang zwischen einer vollständigen Plaqueentfernung und einem reduzierten Kariesbefall gilt als bewiesen [20].

Bei der häuslichen Mundhygiene erfolgt jedoch häufig keine effektive Plaqueentfernung und ein Großteil der Zahnflächen wird nicht gereinigt [155]. Die aufgewendete Zeit für die Mundhygiene beträgt oftmals weniger als eine Minute [97, 155, 201]. Eine regelmäßige tägliche Interdentalraumreinigung wird häufig nicht durchgeführt. Die Ursachen könnten eine zu geringe Motivation oder ein zu geringes Verständnis für eine angemessene Mundhygiene sein [146, 241, 257].

Die Mehrzahl der Untersuchungen zeigte, dass die alleinige Verwendung von Zahnbürsten für eine adäquate Reinigung nicht ausreichend ist. Vor allem die zervikal vom Bracket gelegenen Bereiche werden von der Bürste nicht immer erfasst [133]. Die zirkulär um das Bracket, insbesondere unterhalb des Drahtbogens vor allem mesial und distal liegenden Zahnbereiche, werden bei einem normalen Putzvorgang nicht oder nur schlecht gereinigt. Die verbleibende Plaque führt dann zu Initialläsionen [9, 93, 148, 150, 149, 159, 224, 248]. Als optimale Putzmittel während einer Multibracketbehandlung empfehlen zahlreiche Studien die Verwendung von Interdentalreinigungshilfen, um auch die bracketnahen Bereiche unterhalb des Drahtbogens zu erreichen [66, 104, 120, 133].

Djamchidi et al. untersuchten an Patienten mit festsitzenden Apparaturen die Anwendung verschiedener Zahnseidetypen, wie Superfloss, Multifloss und Specialfloss sowie herkömmliche Zahnseide. In der Reinigungsleistung wurde kein Unterschied festgestellt. Aufgrund ihrer schwierigen Handhabung bei Multibracket-Patienten wurde – trotz anders laufender Anweisungen - keine der Zahnseiden regelmäßig im Seitenzahnbereich angewendet [71].

In zahlreichen Studien wurde untersucht, ob es bei Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen einen Unterschied in der Effektivität des Zähneputzens mittels einer normalen Handzahnbürste und einer elektrischen Zahnbürste gibt [33, 110, 120, 232, 245]. Einige Autoren stellten in ihren Untersuchungen eine Überlegenheit elektrischer Zahnbürsten gegenüber Handzahnbürsten in Bezug auf Plaqueentfernung und das Vermeiden von Gingivitiden sowie White Spots fest [33, 245]. Andere Autoren konnten dagegen keinen Unterschied zwischen der Reinigungseffektivität elektrischer und manueller Zahnbürsten bei Multibracket-Patienten erkennen [110, 120, 133, 232].

Heintze et al. untersuchten an 38 Patienten mit festsitzenden Apparaturen die Effektivität von drei elektrischen Zahnbürsten sowie einer Kombination aus einer Handzahnbürste, einer Einbüschelbürste und Zahnseide. Die Ergebnisse zeigten, dass unter Einbeziehung aller Zahnflächen nur die elektrische Zahnbürste Rota-dent der manuellen Putztechnik überlegen war. Sie begründeten ihre Beobachtung damit, dass der Bürstenkopf in seiner Form einer rotierenden zahnärztlichen Zwischenraumbürste ähnelte, und es demnach ermöglichte, Plaque besser in den Bereichen unterhalb des Bogens zu entfernen [104].

Eine Aufgabe von Kieferorthopäden besteht darin, bei ihren Patienten eine angemessene Mundhygiene zu erreichen sowie Risikopatienten zu erkennen und diese individualprophylaktisch zu betreuen [102]. Je höher das Kariesrisiko erscheint, desto wichtiger sind präventivzahnmedizinische Programme. Gleichwohl sollten Patienten mit erhöhtem Kariesrisiko möglichst nicht kieferorthopädisch behandelt werden [187].

2.2.2 Prophylaxe durch professionelle Mundhygienemaßnahmen

Die Aufgabe jedes Kieferorthopäden besteht darin, bei seinen Patienten eine angemessene Mundhygiene zu erreichen, Risikopatienten zu erkennen und diese intensivprophylaktisch zu betreuen [102]. Je höher das Karies- und Parodontitisrisiko, desto effektiver sind präventivzahnmedizinische Programme [187]. Um die Defizite der häuslichen Mundhygiene bei Patienten mit festsitzenden Apparaturen auszugleichen, sollte regelmäßig eine professionelle Zahnreinigung

durchgeführt werden [124, 154]. Die Abstände zwischen diesen Reinigungen sind abhängig von der Qualität der häuslichen Mundhygiene und dem individuellen Kariesrisiko zu wählen.

In einem zehnjährigen Präventivprogramm in Finnland bei 1 bis 9-jährigen Kindern wurde mit regelmäßigen professionellen Zahnreinigungen, Fluoridlacken und Fissurenversiegelungen eine Kariesreduktion der 6 bis 9-Jährigen um 60-80 % erreicht. Von den 3-jährigen Kindern waren 91 % statt 30 % kariesfrei, von den 6-Jährigen 60 % statt 20 % [13].

Eine andere finnische Studie zeigte ähnliche Ergebnisse. Kinder, die über einen Zeitraum von drei Jahren einmal jährlich eine professionelle Zahnreinigung sowie zusätzlich eine Kariesrisiko-Bestimmung (ermittelt anhand von Speicheltests und vorausgegangener Karieserfahrung) und daraus abgeleitete Intensivmaßnahmen (zum Beispiel viermal jährliche Anwendung eines CHX-Lackes) erhielten, zeigten eine signifikante Reduktion des Karieszuwachses [187].

Sofern die Recall-Frequenz auf den individuellen Bedarf abgestimmt wird, lassen sich mit professioneller Zahnreinigung hervorragende Ergebnisse erzielen [13, 14, 117, 130].

2.2.3 Prophylaxe durch Fluoride

Fluoride fördern die Remineralisation der frühen Schmelzkaries und verlangsamen das Voranschreiten des kariösen Prozesses. Beginnende, nicht tiefer als 100 µm in den Schmelz reichende Läsionen, können bei guter Mundhygiene und plaquefreien Zahnoberflächen allein durch den Speichel remineralisieren [169]. Aber Demineralisationen bei festsitzender kieferorthopädischer Behandlung entwickeln sich oftmals über Monate und können einige hundert Mikrometer tief sein. Das bedeutet, dass sie nicht vollständig remineralisieren können. Des Weiteren sind die Mineralien in den Läsionen anders als in gesundem Schmelz angeordnet [3]. Die pseudointakte Oberfläche behindert die Remineralisierung und eine neue Kristallbildung in der Tiefe. Beträgt der Mineralisationsverlust mehr als 60 % im Zentrum der Läsion, ist keine vollständige Remineralisation möglich und es verbleibt ein Defekt [210].

Der Nutzen einer Fluoridierung während einer Therapie mit festsitzenden Apparaturen ist unumstritten. In der Literatur werden dennoch unterschiedliche Meinungen über die günstigste Form der Fluoridzufuhr diskutiert [59, 125]. *Benson et al.* empfehlen tägliche Mundspüllösungen mit 0,05 %iger Natriumfluoridlösung [23]. *Øgaard et al.* zeigen indes, dass eine kombinierte Anwendung von amin- und zinnfluoridhaltiger Zahnpaste und Mundspüllösung einen höheren kariesprotektiven Effekt erzielt als die Anwendung von Natriumfluorid [162]. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Frequenz sowie Intensität der Prophylaxe und der Inzidenz von White-Spot-Läsionen [140]. Trotz mangelnder Mitarbeit der Patienten, wie sie häufig bei Jugendlichen auftritt, ist die Prävention von Initiailläsionen möglich [90, 179]. *Geiger et al.* kamen bei ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass 52,2 % ihrer Probanden die häusliche Anwendung von Fluoridspüllösungen unterlassen [90, 91]. Maßnahmen, die weniger von der Mitarbeit des Patienten abhängig sind, erscheinen daher erstrebenswert [179]. Durch die professionelle Applikation von Fluoridlacken wird ebenfalls die Entstehung von Initiailläsionen reduziert [61, 163, 165, 206, 235].

2.2.4 Prophylaxe durch patientenunabhängige Mundhygienemaßnahmen

Der Wirkmechanismus von Fluoriden besteht darin, die Löslichkeitsrate im sauren Milieu zu reduzieren, die Remineralisation an der Kristalloberfläche zu fördern und bakterielle Enzyme zu hemmen [227]. In vivo führt bereits eine geringe Konzentration an Fluorid zur Bildung einer Calciumfluorid-Schicht an der Zahnoberfläche, die von Proteinen aus dem Speichel bedeckt und mit Phosphat angereichert ist. Die Löslichkeit der Calciumfluorid-Schicht ist gering. Dieses Reservoir von Fluoriden an der Zahnoberfläche besitzt eine hohe Substantivität, wodurch Fluorid für die Remineralisation und Kalzium für die Neutralisation einer Säureattacke bereitgestellt werden kann. Diese lokale Fluoridwirkung als Calciumfluorid-Depot ist für die Herabsetzung der Löslichkeitsrate des Schmelzes wichtiger als eine hohe Fluoridkonzentration im Schmelz [118, 246].

Der Literatur ist keine exakte Minimalkonzentration an Fluoriden zur Verhinderung einer Demineralisation um Bracketbasen zu entnehmen [109, 193]. Eine konstant

niedrig dosierte Gabe von Fluoriden hat eine größere kariostatische Wirkung als einzelne hochdosierte Applikationen [34, 51]. Um eine konstante Fluoridfreisetzung zu erreichen, wurden einige Materialien zur adhäsiven Bracketbefestigung mit Fluoriden versetzt. Die Fluoridfreisetzung ist vom Basismaterial abhängig [18, 47, 75, 154] und davon, in welcher Form Fluorid zugesetzt wird [21, 68, 126]. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die höchste Fluoridfreisetzungsrates am ersten Tag stattfindet, und es zu einem Abfall der Fluoridfreisetzungsrates in den folgenden Tagen kommt [43, 93, 132, 144, 247]. Die hohe Fluoridkonzentration in den ersten Tagen wird als „burst effect“ bezeichnet und begünstigt die Remineralisation des mit Säure konditionierten Schmelzes durch die Bildung eines Kalziumfluoridreservoirs [144]. Glasionomerzemente haben eine hohe und langfristige Fluoridfreisetzungsrates [18, 47, 180, 193], die zudem durch andere Fluoridquellen wie bei einem Akku wieder erhöht werden kann. Ihre geringe Haftfestigkeit im Vergleich zu Kompositen und die damit verbundenen hohen Bracketverlusten schränken ihre Anwendung als Bracketadhäsiv ein [48, 77]. Kunststoff-modifizierte Glasionomerzemente, eine Zusammensetzung aus Glasionomerzement und Komposit, verfügen über höhere Haftfestigkeiten bei hoher Fluoridfreisetzung [180]. *Demito et al.* konnten zeigen, dass Zähne, auf denen Brackets mit Kunststoff-modifiziertem Glasionomerzement befestigt wurden, 50 % weniger Schmelzdemineralisationen aufwiesen als Zähne, deren Brackets mit Fluorid freisetzenden Kompositen befestigt wurden [61]. Die mit Fluorid versetzten Materialien zur Bracketbefestigung schützen allerdings nur einen begrenzten Bereich, der unmittelbar an das Bracket angrenzt [94, 236].

Eine andere Möglichkeit ist die Applikation von Fluoridlacken. Diese stellen ein nach Applikation an den Kariesprädispositionsstellen haftendes Fluoriddepot dar, das über Stunden Fluoridionen in hohen Konzentrationen auf den Schmelz einwirken lässt und so eine Tiefenwirkung ermöglicht. Erstmals wurden Fluoridlacke 1968 als Arzneimittel in Deutschland registriert. Sie begründeten so eine neue Produktkategorie zur Kariesprophylaxe. *Schmidt et al.* untersuchten, dass eine einmalige Touchierung mit einem Fluoridlack (Duraphat) in einem Zeitraum von 15 Monaten eine Kariesreduktion von 36 % bei 13- bis 14-jährigen Schulkindern gegenüber einer Kontrollgruppe [205] ergab. Im Jahr 2002 erstellten *Marinho et al.* einen Cochrane Review zur Kariesprävention bei Kindern und Erwachsenen mit Fluoridlack. Von 116 näher betrachteten klinischen Studien wurden neun für eine

Metaanalyse berücksichtigt. Für die bleibenden Zähne wurde eine statistisch gesicherte Kariesreduktion von 46 Prozent (30 bis 63 Prozent), für Milchzähne von 33 Prozent (19 bis 48 Prozent) gefunden [142]. In einem systemischen Review von *Petersson et al.*, im Jahr 2004, wird über eine durchschnittliche Kariesreduktion von 30 % (0 - 69 %) gegenüber unbehandelten Kontrollgruppen berichtet [185].

Petersson kommt in einer Übersichtsarbeit aus dem Jahr 1993 zu dem Ergebnis, dass Fluoridlacke eine ausgezeichnete kariespräventive Wirksamkeit besitzen. Der klinische Effekt hängt seiner Meinung nach sehr stark von der Applikationsfrequenz ab, besonders bei Kindern mit hoher Kariesaktivität. Eine einmalige Fluoridlackapplikation ist demnach kariespräventiv unwirksam. Vielmehr sollten Fluoridlacke bei Kindern mit erhöhtem Kariesrisiko in einem Intervall zwischen drei und sechs Monaten appliziert werden [184]. Im Jahre 1994 veröffentlichten *Helfenstein* und *Steiner* eine Metaanalyse zur kariespräventiven Effektivität des Fluoridlacks Duraphat. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Applikation von Duraphat zu einer um 38 % kariesreduzierenden Wirkung führt. Sie fanden zudem heraus, dass der Fluorid freisetzende und somit der kariesreduzierende Effekt mit zunehmender Behandlungsdauer abnimmt [106].

Ein weiterer Fluoridlack zur Kariesprävention ist FluorProtector. Bei dem bereits häufig untersuchten Produkt zeigten sich verschiedene Ergebnisse. *De Bruyn et al.* [58] und auch *Salem et al.* [199] zeigten in ihren Untersuchungen die kariesprotektive Wirkungsweise von FluorProtector. Dem gegenüber steht die Studie von *Seppä et al.*, in der kein kariesreduzierender Effekt von FluorProtector festgestellt wird [213].

Eine weitere Möglichkeit das Bracketumfeld vor Demineralisationen zu schützen, stellt die Applikation von Versiegeln auf die Schmelzoberfläche um das Bracket dar [116].

Die Einführung dieser adhäsiven Verbundtechnologie am Schmelz erfolgte 1955 durch *Buonocore* [38]. Ein sicherer Verbund zwischen der Zahnschmelzoberfläche und dem Kunststoff erfordert ein vorhergehendes Konditionieren der Schmelzoberfläche durch die Schmelz-Ätz-Technik. In der Regel wird 37%ige Phosphorsäure verwendet [214, 216]. Die dabei entstehende Retention führt zu einem mikromechanischen Verbund des Adhäsivs. Der Halt des Kunststoffs

begründet sich durch einen geometrischen und einen rheologischen Effekt [127, 135]. Nach *Hu* und *Featherstone* lassen sich so eine hohe Haftfestigkeit und eine Versiegelung von versehentlich angeätzten Schmelzbereichen sowie ein Schutz vor Demineralisationen im bracketnahen Bereich erreichen [116]. Die Versiegler begründen ihre Schutzwirkung nicht nur durch eine Freisetzung von Fluoriden, sondern auch durch die Bildung einer mechanischen Barriere [95]. Paterson et al. konnten in einer Studie über Fissurenversiegler zeigen, dass die Versiegler eine physikalische Barriere zwischen der Läsion und der Quelle der Säureproduktion, der dentalen Plaque, bewirkt [181].

Bei ersten klinischen Anwendungen von Kunststoffversiegler zeigten sich signifikante Rückgänge von White Spots [116, 252, 251, 250]. Allerdings berichteten *Ceen* und *Gwinnett* von einer unvollständigen Polymerisation des Kunststoffes durch die Sauerstoffinhibitionsschicht, was auf eine inadäquate Schutzwirkung der Versiegler (mit Ausnahme von Nuva Seal®) zurückgeführt wurde [45]. Ältere In-vitro-Studien zeigten, dass einige chemisch härtende Versiegler nicht vollständig aushärteten [46, 122, 253]. Lichthärtende Versiegler dagegen härteten in In-vitro-Versuchen vollständig aus und konnten die Zahnoberfläche im Labor wirksam vor Demineralisationen schützen [85, 122]. Klinische Studien widerlegten diese Ergebnisse. Die lichthärtenden Versiegler zeigten keinen wirksameren Schutz vor Demineralisationen als die chemisch härtenden Versiegler [17, 242]. Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind dadurch bedingt, dass bei diesen Untersuchungen die Versiegler ungefüllt oder nur wenig gefüllt waren. Daher konnten sie mechanischem Verschleiß durch Zähneputzen oder Säureattacken nicht genügend standhalten. Die meisten der heutigen Versiegler sind gefüllt [116].

Die Versiegelung von Fissuren und Grübchen gilt als effektive und anerkannte Maßnahme zur Vermeidung von Karies [113, 137]. Darauf basierend entwickelte sich die Idee, auch Glattflächen durch das Auftragen einer Barriere gegen physikalische und chemische Einflüsse vor Karies zu schützen [56, 111, 204]. In-vivo- und In-vitro-Studien zur Prüfung dieses neuen Ansatzes liegen bislang nicht vor.

2.3 Studien zu den in dieser Arbeit verwendeten Produkten

In der nachfolgenden Übersicht werden einige wichtige in der Literatur zu diesem Thema veröffentlichten Studien zusammengefasst.

Buren et al. verglichen in einer In-vitro-Studie die kariesprotektive Wirkung des Versiegelungslacks FluorProtector mit dem ungefüllten Versiegler Delton® und dem gefüllten Versiegler ProSeal. Alle drei Gruppen zeigten signifikant geringere Läsionstiefen im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrollgruppe. ProSeal erzielte die signifikant besten Werte und wies eine 92%ige Verminderung der Läsionstiefe im Vergleich zu den anderen Produkten auf. Die durchschnittliche Läsionstiefe bei ProSeal lag bei 11,4 µm. Delton schnitt mit einer durchschnittlichen Läsionstiefe von 40,4 µm besser ab als FluorProtector mit 73,9 µm [41].

Auch *Hu* und *Featherstone [116]* sowie *Cain et al. [44]* zeigten in ihren In-vitro-Studien die kariesprotektive Wirksamkeit von ProSeal. *Cain et al.* fanden, dass neben ProSeal auch der Versiegler LightBond kariesprotektive Eigenschaften aufweist und die Läsionstiefe reduziert. Beide Versiegler wiesen unter Laborbedingungen bei Studienende intakte Übergänge im Schmelz-Material-Bereich ohne Läsionen unter dem Versiegler auf. Kariöse Läsionen waren lediglich auf der Schmelzfläche angrenzend an die Versiegler sichtbar [44]. *Soliman et al.* zeigten eine längerfristige, jedoch im Verlauf der Untersuchung signifikant abnehmende Fluoridfreisetzungsrate von ProSeal. Aufgrund der abnehmenden Fluoridfreisetzungsrate in den ersten Wochen folgerten die Autoren, dass vor allem ab der dritten Woche mit der zusätzlichen Anwendung von lokalen Fluoridierungen begonnen werden sollte [220].

Stecksén-Blicks et al. zeigten, dass die regelmäßige Fluoridierung die Entwicklung von White-Spot-Läsionen nahe der Bracketbasis vermindern kann [223]. Die Ergebnisse stimmen mit früheren Studien überein [60, 165, 192, 238].

De Bruyn et al. untersuchten in einer In-vitro-Studie die kariesprotektive Wirkung von FluorProtector und zeigten, dass durch die Fluoridapplikation Demineralisationen verhindert werden können [58]. Diese Ergebnisse wurden durch eine Untersuchung von *Salem et al.* bestätigt [199].

Seppä et al. verglichen die kariesprotektive Wirkung von FluorProtector und Duraphat. Die Anwendung von Duraphat reduzierte das Kariesrisiko um 30 %, durch die Anwendung von FluorProtector entstand keine Kariesreduktion [213]. Durch eine Behandlung mit FluorProtector wird vermehrt Fluorid in den Schmelz eingelagert [69, 191, 211]. Die Ursache dafür ist unklar. Dennoch konnte eine bessere kariesprotektive Wirkung von FluorProtector gegenüber Duraphat bisher nicht gezeigt werden. Ein mittels Pinsel einmassierter Lack scheint somit keine bessere Wirkung zu erzielen [212].

Van der Linden und Dermaut zeigten, dass FluorProtector in Kombination mit einem Glasionomerezement bei Applikation unter den orthodontischen Bändern zu keinem Rückgang der Entstehung von White-Spot-Läsionen führt. Bei der Applikation auf unbehänderten Zähnen konnte eine kariesprotektive Wirkung von FluorProtector nachgewiesen werden [237]. *Adriaens et al.* hingegen konnten in ihrer In-vivo- und In-vitro-Studie einen kariesprotektiven Effekt von FluorProtector bei Applikation unter mit Phosphatzement befestigten kieferorthopädischen Bändern feststellen [1].

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit FluorProtector differieren sehr. Einige Studien zeigten eine kariesprotektive Wirkung, während andere diese nicht fanden [212].

3 Ziel und Fragestellungen der Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie war es, sowohl die Wirksamkeit der Versiegler ProSeal (Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, USA), LightCure (Dental Technologies, Lincolnwood, Illinois, USA) und Seal&Protect (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) als auch die Wirksamkeit der drei Fluoridlacke Tiefenfluorid (Humanchemie, Alfeld, Deutschland), ProtectoF (BonaDent, Frankfurt/Main, Deutschland) und FluorProtector (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Jagst, Deutschland) in vitro hinsichtlich der Vermeidung von Schmelzdemineralisationen zu überprüfen. Des Weiteren sollten die Produkte auf ihre mechanische, thermische und chemische Belastbarkeit untersucht sowie ihre Vor- und Nachteile verglichen werden. Eine unbehandelte Zahnfläche auf jeder Zahnprobe sollte als Kontrollseite Aufschluss geben, ob eine Bracketumfeldbehandlung überhaupt sinnvoll ist. Im Einzelnen wurden folgende Fragen untersucht:

1. Lassen sich mittels Lichtmikroskopie Unterschiede zwischen den versiegelten und unversiegelten Zahnflächen erkennen und nachweisen?
2. Gibt es Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einzelnen Produkte?
3. Führt das Bürsten der Zahnproben mit Oral B Cross Soft Action in 1000 Zyklen zu abrasiven Vorgängen auf der mit einem Produkt behandelten Zahnoberfläche?
4. Können die untersuchten Produkte thermischen Wechselbelastungen und in vitro produzierten Säureangriffen standhalten?

4 Materialien und Methoden

4.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Für die Untersuchung wurden 120 extrahierte Molaren ausgesucht. Mindestens eine Fläche war komplett frei von Karies und Demineralisationen und wies zudem keine Anzeichen einer vorausgegangenen Restauration auf. Die Zähne wurden während des gesamten experimentellen Durchlaufs in 0,1%iger Thymol-Lösung bei 25°C gelagert.

Die extrahierten Zähne wurden mit einer in einem K9-Handstück (KaVo Dental, Biberach, Deutschland) eingespannten dünnen Trennscheibe unter Wasserkühlung dekapitiert, das heißt die Kronen wurden schonend von den Wurzeln getrennt. Das Pulpagewebe wurde mittels eines Exkavators (Exkavator mittel, Item Code: 9002043, Henry Schein Europa, Corporate Brand Development International, Langen, Deutschland) aus der Pulpahöhle entfernt.

Mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät (Air-Flow[®] S1, Fa. EMS, München, Deutschland) und Prophylaxepulver (Air-Flow[®] Prophylaxis Powder, EMS, München, Deutschland) wurden die Molaren in einem Abstand von ca. 5 mm für 30 Sekunden senkrecht vollständig abgestrahlt.

Die angerauten bukkalen Zahnflächen wurden mit drei Soflex-Scheiben (3M Espe, Neuss, Deutschland) mit der Körnung mittel (Soflex-XT Pop-On Polierscheiben mittel 2381 M), fein (Soflex-XT Pop-On Polierscheiben fein 2381 F) und sehr fein (Soflex-XT Pop-On Polierscheiben x-fein 2381 SF) für jeweils 30 Sekunden poliert.

Zur besseren Handhabung wurden die abgetrennten Kronen in einen Kunststoff-Block (Individo Lux, Voco, Cuxhaven, Deutschland) eingebettet. Am Boden des Blocks wurden auch zwei Pins aus Messing der Größe Medium des Pindex-Systems (Pindex[®] System, Coltène/Whaledent, Altstätten, Schweiz) eingebettet (Abb. 1).

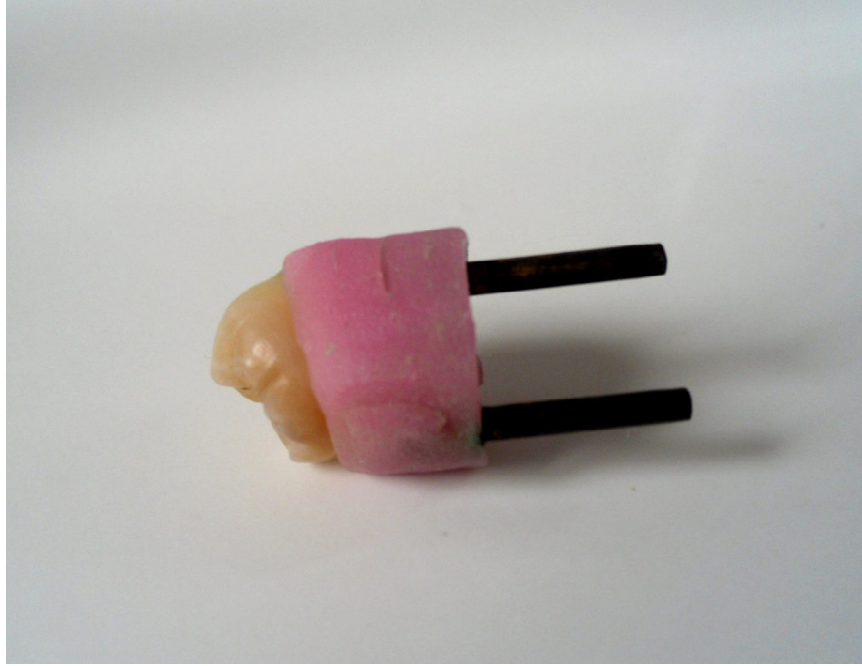


Abb. 1: Zahnprobe in eingebettetem rosafarbenen Kunststoff und zwei am Boden des Kunststoff-Blocks vorhandene Pins

Der rosafarbene Kunststoff-Block wurde an den fünf Seiten für je 10 Sekunden ausgehärtet. Die Lichthärtung erfolgte mit Hilfe einer Halogen-Lampe (Ortholux™ XT Curing Light, 3M Unitek, Neuss, Deutschland) bei einem konstanten Abstand von 3 mm. Die Wellenlänge der Halogenlampe lag zwischen 360 und 500 nm.

Die verwendete Zahnfläche wurde in drei Bereiche eingeteilt. Auf den Bereich A wurde das zu untersuchende Produkt nach Herstellerangaben aufgetragen. Der Bereich B stellte die Positiv-Kontrolle dar, die durch einen farblosen Nagellack (Resist & Shine Pro Kératine Nagellack, L'Oréal, Paris, Frankreich) versiegelt wurde. Der C-Bereich war die Negativ-Kontrolle, welche unbehandelt blieb (Abb. 2).

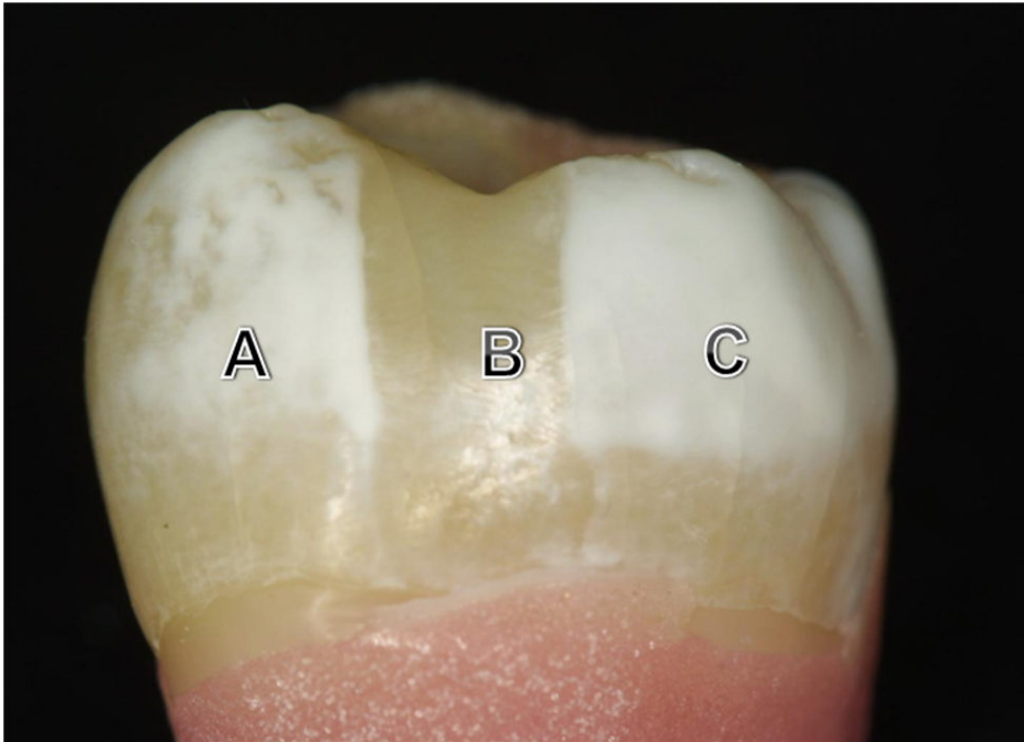


Abb. 2: Bukkale Ansicht einer Zahnkrone mit Kunststoffsockel nach thermischer, mechanischer und chemischer Belastung. Die ursprünglich kariesfreie Testseite war zuvor durch Auftragen von Nagellack in drei Bereiche unterteilt worden: Testbereich für das untersuchte Produkt (A), Positiv-Kontrolle mit Nagellack (B), unbehandelte Negativ-Kontrolle (C).

Die 120 Zahnkronen wurden nach dem Zufallsprinzip in sechs Gruppen à 20 Proben eingeteilt.

Entsprechend den Vorgaben der Hersteller wurden die verschiedenen sechs Materialien für die Bracketumfeldbehandlung auf dem Testbereich A aufgetragen.

4.2 Verwendete Materialien

Für die Untersuchung wurden drei verschiedene Versiegler (Gruppe 1 bis 3) und drei verschiedene Fluoridlacke (Gruppe 4 bis 6) verwendet:

- | | |
|----------|--|
| Gruppe 1 | Pro Seal (Reliance Orthodontic Products Inc., Itasca, Illinois, USA) |
| Gruppe 2 | LightCure (Dental Technologies, Lincolnwood, Illinois, USA) |
| Gruppe 3 | Seal&Protect (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) |
| Gruppe 4 | Tiefenfluorid (Humanchemie, Alfeld, Deutschland) |
| Gruppe 5 | ProtectoF (BonaDent, Frankfurt/Main, Deutschland) |
| Gruppe 6 | FluorProtector (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Jagst, Deutschland) |

Die Zusammensetzungen dieser Produkte mit den jeweiligen prozentualen Angaben, wie sie vom jeweiligen Hersteller angegeben werden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Verwendete Materialien für die Bracketumfeldbehandlung und deren Zusammensetzung nach Herstellerangaben

Materialien (Hersteller)	Zusammensetzung
<p>ProSeal (Reliance Orthodontic Products Inc.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ethoxyliertes Bisphenol-A-Diacrylat (10 - 50 %) • Urethanacrylatester (10 - 40 %) • Polyethylenglycoldiacrylat (10 - 40%) • Fluoridierte Glasfritten (5 - 40%) • Fluoreszenzmittel • Photoinitiator Lucerin
<p>LightCure (Dental Technologies)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bis-GMA • Multifunktionelle Methacrylate • Barium-Borosilikatglas • Natriumfluorid • Lichtinitiator • Amine
<p>Seal&Protect (Dentsply DeTrey)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Di- und Trimethacrylate (25 - 50 %) • PENTA (2,5 - 10 %) • Funktionalisierendes amorphes Siliciumdioxid • Butyliertes Hydroxytoluol • Cetylaminhydrofluorid • Lichtinitiator • Triclosan (2,5 - 10 %) • Aceton (25 - 50 %)
<p>Tiefenfluorid (Humanchemie)</p>	<p>Touchierlösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kupfer-II-hexafluorosilicat • Magnesiumhexafluorosilicat • Natriumfluorid • Aqua dest. <p>Nachtouchierlösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calciumhydroxid, hochdispers • Methylcellulose • Aqua dest.
<p>ProtectoF (BonaDent)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Silikonpolyacrylat • Ethylacetat • Nano-Calciumfluorid • Nano-Fluorapatit (0,1 %) • Olafur
<p>FluorProtector (Ivoclar Vivadent)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fluorsilan (0,1 %) • Ethylacetat (> 65 %) • Isopentylproprionat (< 21 %) • Polyisocyanat (< 12 %)

Bei der Anwendung von ProSeal und LightCure war eine Konditionierung des Zahnschmelzes notwendig, die in dieser Untersuchung mit der 37%igen Phosphorsäure Total Etch (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) durchgeführt wurde. Um eine Standardisierung der Versuchsreihen zu gewährleisten, wurde eine erbsengroße Menge an Gel portioniert (Tab. 2).

Tab. 2: Vorgehen bei der Schmelzkonditionierung

Konditionierer (Hersteller)	Zusammensetzung	Verarbeitung
Total Etch Ätzgel (Ivoclar Vivadent): Konventionelle Ätz- Technik	<ul style="list-style-type: none"> • 37 % Gewichtsanteil Phosphorsäure • Verdickungsmittel • Farbstoff 	<ul style="list-style-type: none"> • Voraussetzung: Gereinigte und trockene Zahnoberfläche • Applikation von einer kleinen Menge Ätzgel mittels Pinselchen • Einwirkzeit 30 s • Abspülen mit Wasserspray für 20 s • Trocknen mit Druckluft für 10 s

Für den Versiegler Seal&Protect sowie die drei fluoridhaltigen Versiegelungslacke Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector war laut Herstellerangaben keine Konditionierung erforderlich.

Verarbeitung der verwendeten Materialien:

- **ProSeal (gefüllter Versiegler):**
 - Die Zahnoberfläche wurde mittels Schaumstoffpellet und Multifunktionsspritze gereinigt und getrocknet.
 - Die Schmelzoberfläche wurde mit Total Etch Ätzgel konditioniert.

- Mittels Applikationspinselchen (Pinsel, Stärke mittel, KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz) wurden 1-2 Tropfen ProSeal aufgetragen und gleichmäßig auf der Zahnoberfläche verteilt.
- Der Versiegler wurde mittels Multifunktionsspritze vorsichtig verblasen.
- Die Lichtpolymerisation erfolgte mit der Halogenlampe Ortholux (Ortholux™ XT Curing Light, 3M Unitek, Neuss, Deutschland) für 20 s in einem Abstand von 3 mm.

Cave: ProSeal härtet nur in einem Bereich von 380 nm aus. Das liegt an dem im ProSeal enthaltenden Photoinitiator, dem so genannten Lucerin. Die Wellenlänge der Halogenlampe wurde regelmäßig mit einem Radiometer überprüft.

- **LightCure (gefüllter Versiegler):**

- Die Zahnoberfläche wurde mittels Schaumstoffpellet und Multifunktionsspritze gereinigt und getrocknet.
- Die Schmelzoberfläche wurde mit Total Etch Ätzelgel konditioniert.
- Mittels Applikationspinselchen (Pinsel, Stärke mittel, KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz) wurden 1-2 Tropfen LightCure aufgetragen und gleichmäßig auf der Zahnoberfläche verteilt.
- Der Versiegler wurde mittels Multifunktionsspritze vorsichtig verblasen.
- Die Lichtpolymerisation erfolgte mit der Halogenlampe Ortholux (Ortholux™ XT Curing Light, 3M Unitek, Neuss, Deutschland) für 10 s in einem Abstand von 3 mm.

- **Seal&Protect (gefüllter Versiegler):**

- Die Zahnoberfläche wurde mittels Schaumstoffpellet und Multifunktionsspritze gereinigt und getrocknet.
- Seal&Protect wurde mittels eines in der Packung enthaltenen Dentsply Applicator Tips aufgetragen und gleichmäßig auf der Zahnoberfläche verteilt.
- Die Einwirkzeit für den Versiegler auf der Zahnoberfläche betrug 20 s.
- Mittels Multifunktionsspritze wurde der Versiegler für 10 s vorsichtig verblasen.

- Die Lichtpolymerisation erfolgte mit der Halogenlampe Ortholux (Ortholux™ XT Curing Light, 3M Unitek, Neuss, Deutschland) für 10 s in einem Abstand von 3 mm.
- Eine zweite Schicht Seal&Protect wurde ebenso wie die erste Schicht aufgetragen.

- **Tiefenfluorid (Fluoridlack):**

- Die Zahnoberfläche wurde mittels Schaumstoffpellet und Multifunktionsspritze gereinigt und getrocknet.
- Die Touchierlösung wurde gleichmäßig mit einem getränkten Schaumstoffpellet für 1 min aufgetragen.
- Unmittelbar danach wurde die Nachtouchierlösung mit einem Schaumstoffpellet für 1 min gleichmäßig aufgetragen.

- **ProtectoF (Fluoridlack):**

- Die Zahnoberfläche wurde mittels Schaumstoffpellet und Multifunktionsspritze gereinigt und getrocknet.
- Wenige Tropfen ProtectoF wurden mittels Applikationspinselchen (Pinsel, Stärke mittel, KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz) gleichmäßig aufgetragen und einmassiert.
- Die Lufttrocknung erfolgte für 1 min, das heißt es wurde nicht mittels Multifunktionsspritze verblasen.

- **FluorProtector (Fluoridlack):**

- Die Zahnoberfläche wurde mittels Schaumstoffpellet und Multifunktionsspritze gereinigt und getrocknet.
- Wenige Tropfen FluorProtector wurden mittels Applikationspinselchen (Pinsel, Stärke mittel, KerrHawe SA, Bioggio, Schweiz) gleichmäßig aufgetragen und einmassiert.
- Der Fluoridlack wurde vorsichtig mit Druckluft für 10 s getrocknet.
- Die Lufttrocknung erfolgte für 1 min.

4.3 Künstliche Alterung

Die Temperaturen in der Mundhöhle variieren stark und beeinflussen die in die Mundhöhle eingebrachten Materialien. Gemäß DIN 53508 wurden die Materialien durch zahlreiche Temperaturwechsel in kurzer Zeit künstlich gealtert: Temperaturwechselbelastung zwischen 5°C und 55°C [28].

Die unterschiedlich temperierten Bäder wurden mit Aqua dest. gefüllt. Die Zahnproben pendelten 1000-mal im Thermocycler zwischen den unterschiedlich temperierten Bädern. Die Eintauchzeit betrug für jedes Bad 30 Sekunden und die Transferzeit zwischen den Bädern 5 Sekunden (Abb. 3/4/5).

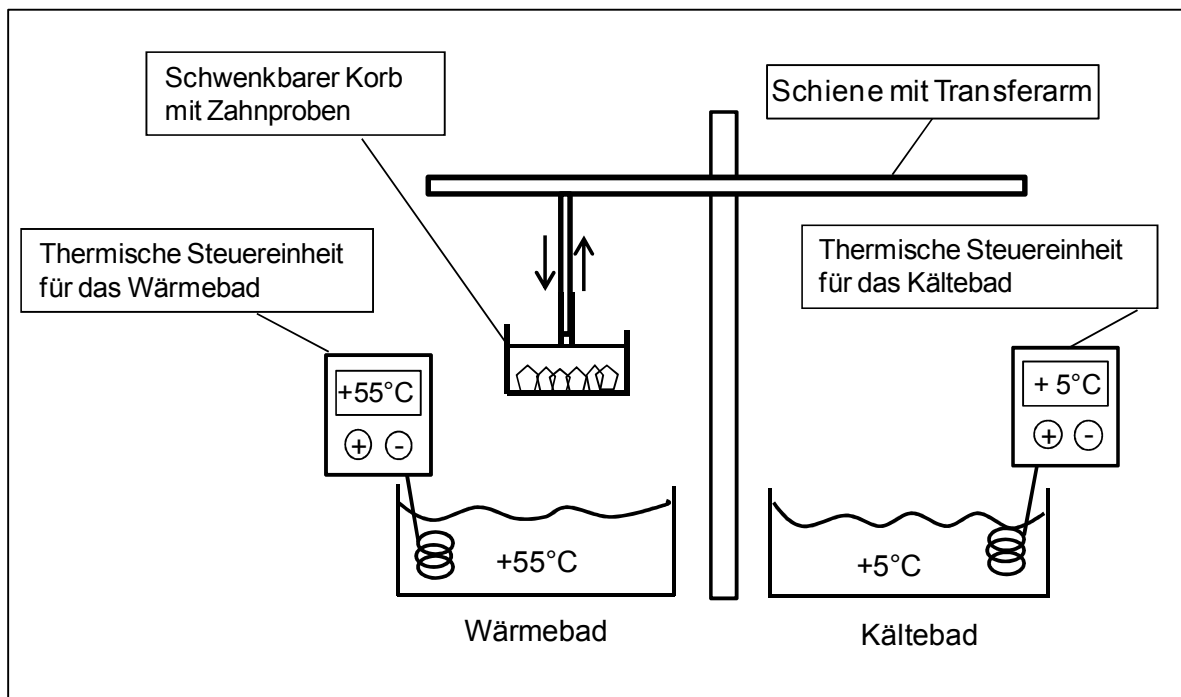


Abb. 3: Schematische Darstellung der Thermocycling-Apparatur.

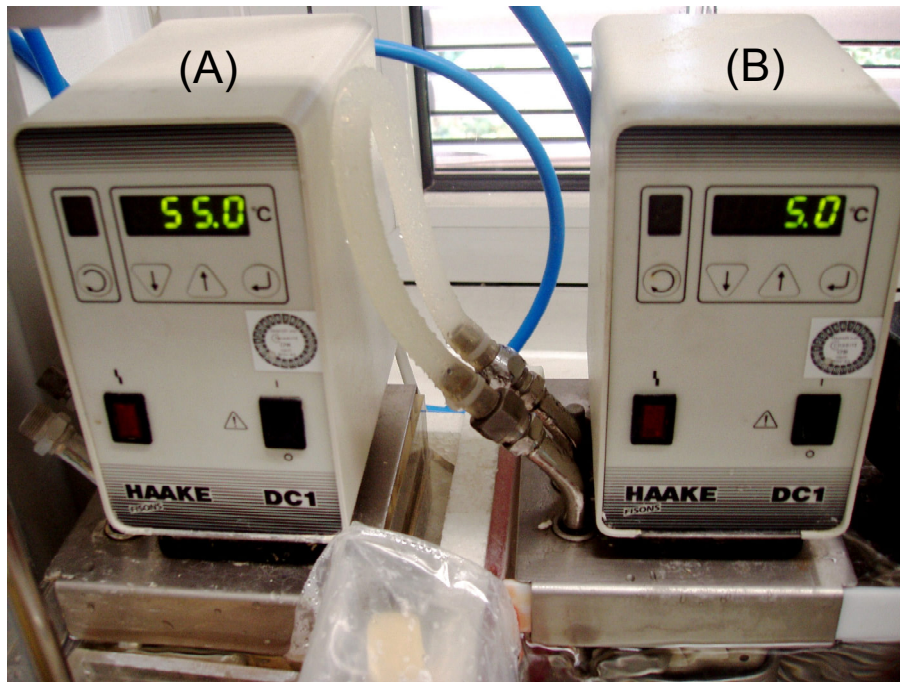


Abb. 4: Thermische Steuereinheit für das Wärmebad (A) und für das Kältebad (B).

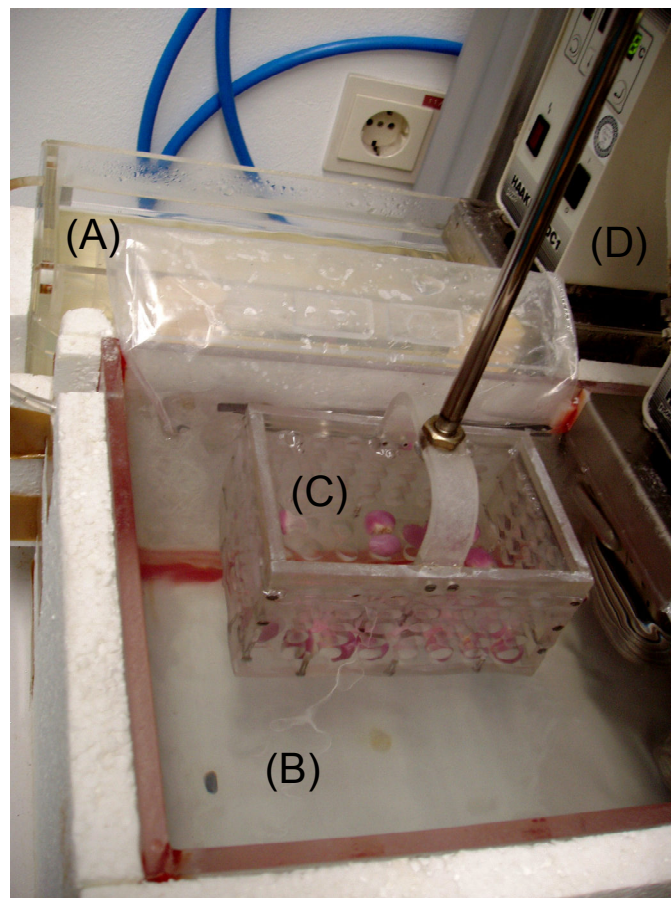


Abb. 5: Wärmebad (A), Kältebad (B), schwenkbarer Korb mit Zahnproben (C), thermische Steuereinheit (D).

4.4 Putzmaschine

Um eine Vergleichbarkeit der Putzbewegungen und des Anpressdrucks sicherzustellen, wurde eine Putzmaschine eingesetzt (Abb. 6), die ausschließlich rein lineare Bürstenbewegungen erlaubte [8].

Die Putzmaschine besaß fünf metallische Leisten (B in Abb. 6), die untereinander über eine Metallschiene verbunden waren und mittels eines Elektromotors vor und zurück bewegt wurden. Am anderen Ende der Leisten befanden sich Zahnbürstenköpfe. Dafür wurden Bürstenköpfe der Oral B Cross Action 35 Soft Zahnbürste (Oral B, Procter & Gamble, Cincinnati, Ohio, USA) verwendet (Abb. 6). Die Bürstengriffe wurden vorher mittels einer in einem K9-Handstück (KaVo Dental, Biberach, Deutschland) eingespannten dünnen Trennscheibe abgetrennt und verworfen.

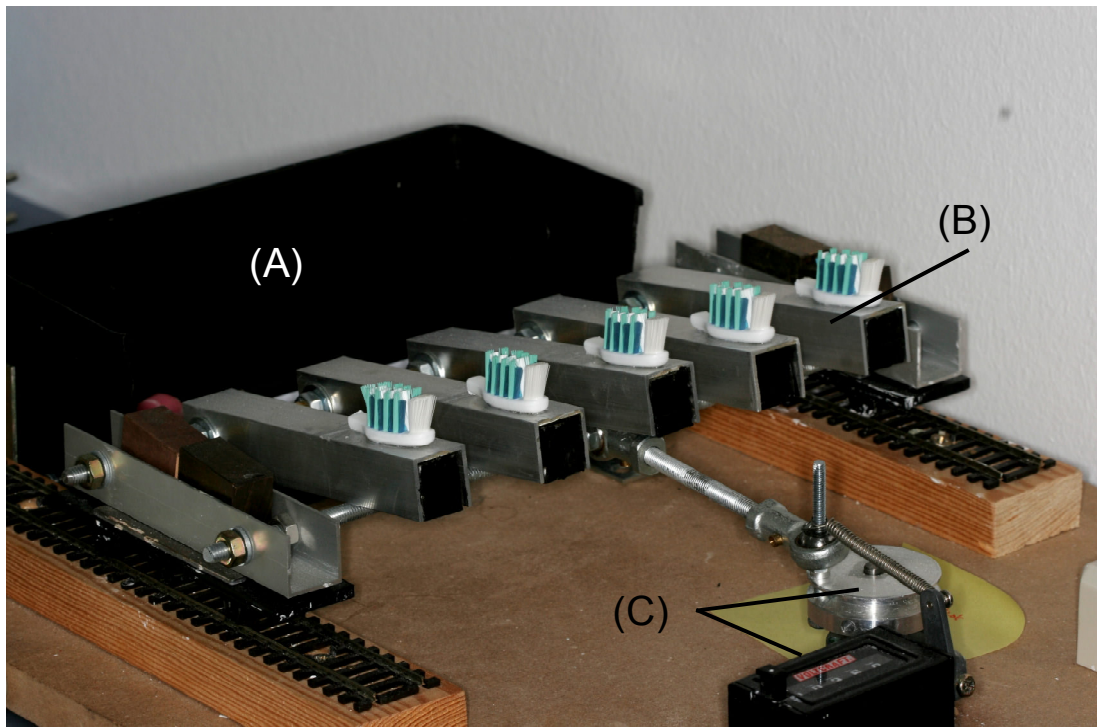


Abb. 6: Darstellung der Putzmaschine. Wanne zum Aufnehmen der Zahnproben und der Suspension (A), fünf metallische Leisten mit Zahnbürstenköpfen, die um 180° umgeklappt werden (B), und der Elektromotor mit mechanischem Zählwerk (C).

Angetrieben wurden die Bürstenköpfe von einem Elektromotor mit Getriebe. Nachgeschaltet war ein mechanisches Zählwerk, welches die Anzahl der Putzzyklen angab. Die Zyklenzahl betrug 1000 Zyklen, was einer Putzzeit von 25 Minuten entsprach. Die Amplitude betrug 15 mm.

Der eigentliche Putzvorgang fand in einer Wanne statt. Die Probenträger wurden über das Pindex-System auf einer Leiste in der Wanne fixiert (Abb. 7). Die fünf Metallleisten mit den Bürstenköpfen wurden um 180° umgeklappt und die Bürstenköpfe lagen parallel zur Putzrichtung. Nach jedem Zyklus wurden die Bürstenköpfe ausgetauscht.

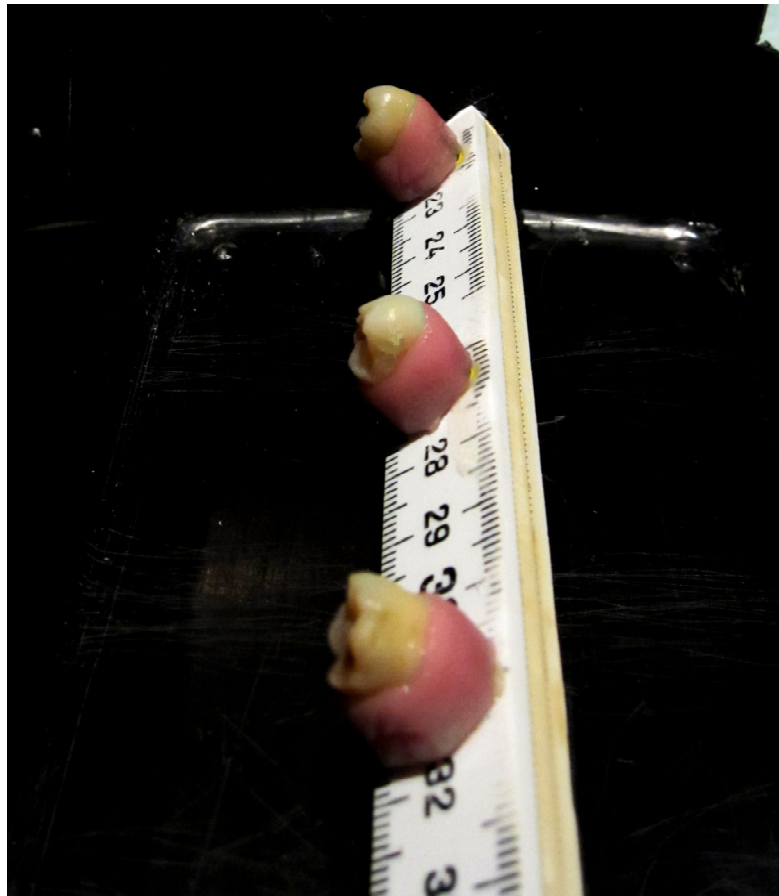


Abb. 7: Wanne mit Leiste und aufgesteckten Zahnproben vor dem Einfüllen der Suspension zum Putzvorgang.

Um zu gewährleisten, dass die Bürstenköpfe während des Putzvorgangs dem Bürstenfeld auflagen, wurden Gewichte über den Bürstenköpfen angebracht (Abb. 8, Abb. 9). Diese Gewichte sollten den Anpressdruck realisieren. Für diese Untersuchung wurde ein Druck von 1 N/cm^2 gewählt. Ein Newton entspricht bei einer mittleren Erdbeschleunigung auf Meereshöhe von $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ der Gewichtskraft eines Körpers von $101,94 \text{ g}$.

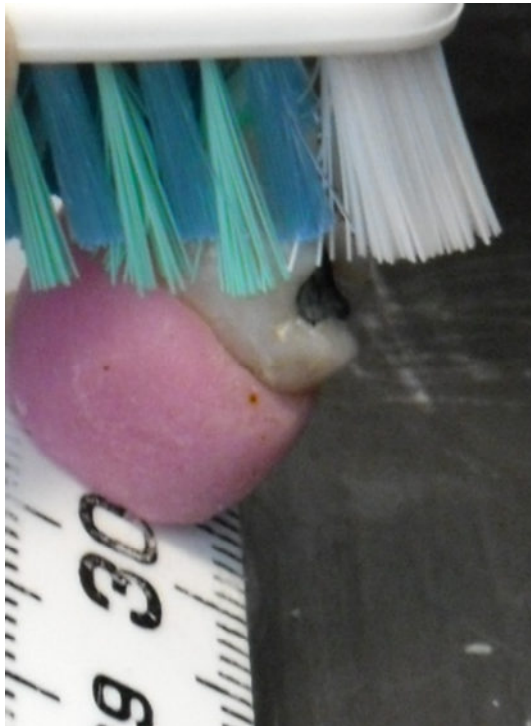


Abb. 8: Zahnprobe in Wanne mit Bürstenkopf auf bukkaler Zahnfläche

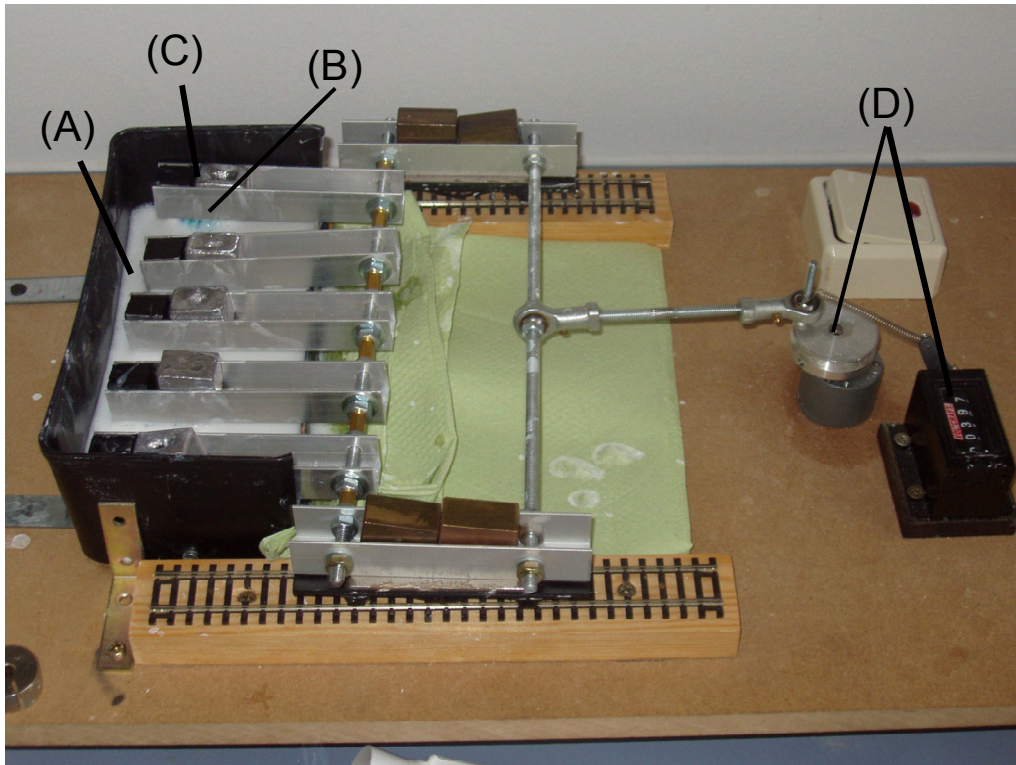


Abb. 9: Putzmaschine beim Putzvorgang. Wanne mit Suspension (A), metallische Leisten mit an der unteren Seite befindlichen Bürstenköpfen (B), Gewichte über den Bürstenköpfen für den Anpressdruck (C), Elektromotor mit mechanischem Zählwerk (D).

4.5 Herstellung der Zahnpasten-Suspension

Die Zahnpasten-Suspension wurde gemäß der ISO/DIS 11609:2008 mit Aqua dest. angemischt. Zur Herstellung der Suspension wurden 25 g der Referenzzahnpaste zu 40 ml Aqua dest. hinzugefügt und mit einem Magnetrührer so lange gerührt bis die Suspension vollständig durchmischt war. Die Verwendung eines Zahnpasten-Slurrys mit diesem Mischungsverhältnis wurde bereits in einer Untersuchung von *Dyer et al.* verwendet [72]. Mit dieser Verdünnung entstand eine Suspension, die der Konzentration der Suspension des Referenz-Schleifmittels nach der oben genannten DIN-Norm entsprach. Die Suspension wurde nach der Herstellung sofort verwendet.

4.6 Erzeugung künstlicher Kariesläsionen

In einem Methylcellulose-Milchsäure-System wurden für eine Woche künstliche kariöse Läsionen erzeugt. Beschrieben wurde dieses System zuerst durch *Ingram* und *Silverstone* [119] und dann durch *ten Cate et al.* [230]. Die Bestandteile dieser Lösung sind:

12 g	Methylcellulose
300 ml	destilliertes Wasser
150 ml	Milchsäure (90 %)
10 mol/l	NaOH - zum Einstellen des pH-Werts auf 4,6

Die in Kunststoff gefassten Zähne wurden auf dem Boden eines Glastrays (Glastray mit Glasdeckel, 10 X 9 X 7 cm) mit Nagellack (Resist & Shine Pro Kératine Nagellack, L'Oréal, Paris, Frankreich) befestigt und in Methylcellulose-Gel eingebettet. Die Glastrays wurden danach mit Parafilm® M (Brand, Wertheim, Deutschland) versiegelt und für einen Tag bei Raumtemperatur stehen gelassen, damit sich das Gel vollständig vernetzen konnte (Abb. 10).

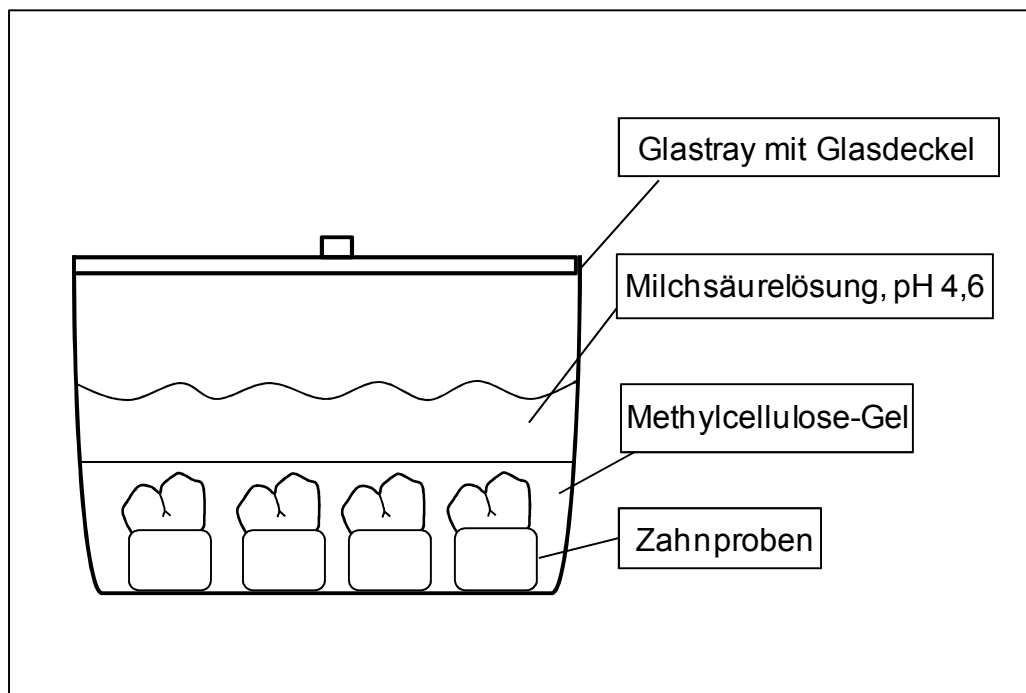


Abb. 10: Schematische Darstellung der Probenanordnung zum Erzeugen künstlicher Kariesläsionen.

Zum Erzeugen einer künstlichen Kariesläsion wurde 24 Stunden nach dem Einbetten der Zahnproben in Methylcellulose die Demineralisationslösung eingefüllt. Pro Glastray wurden 150 ml Milchsäure mit einem pH-Wert von 4,6 pipettiert. Der pH-Wert wurde durch NaOH eingestellt und mittels eines pH-Meters (GMH 3530, Greisinger, Regenstauf, Deutschland) überprüft. Die Glasschalen mit den Zahnproben lagerten dann für 7 Tage bei 37°C in einem Wärmeschrank (Wärmeschrank T6060, Heraeus, Hanau, Deutschland). Nach der Demineralisation wurden die Proben vorsichtig mittels Heidemannspatel aus dem Gel entfernt und mit Aqua dest. abgespült.

4.7 Vorbereitung der Proben zur Auswertung

Die Kunststoff-Blöcke der Zahnproben wurden nach dem Ausbetten mit einem Trimmer (Modelltrimmer HSS-88, Wassermann Dental-Maschinen, Hamburg, Deutschland) so bearbeitet, dass die okklusale Fläche ungefähr parallel zum Untergrund stand. Danach wurden die Proben auf 2 mm dicke Plexiglas-Objektträger (25 mm x 75 mm x 2 mm, Diaplug, Oststeinbeck, Deutschland) mit Sekundenkleber (Cyanacrylatkleber, Omnident, Rodgau, Deutschland) geklebt (Abb. 11).

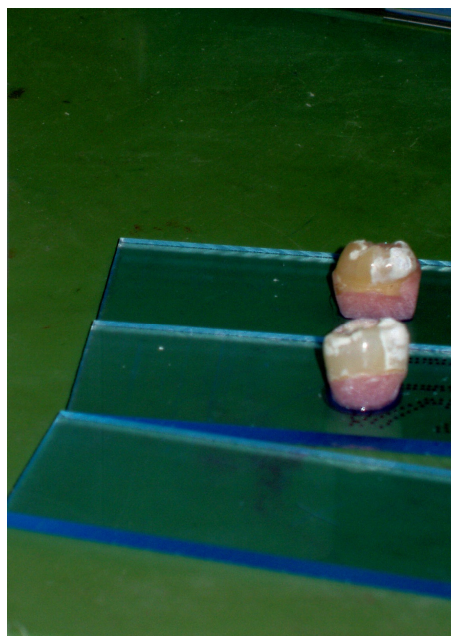


Abb. 11: Zahnproben auf Objektträger aus Plexiglas.

Die Proben wurden zur bukkalen Oberfläche zentrisch in mesiodistaler Richtung einmal am Zahnkronenäquator mittels einer Bandsäge mit einer Dicke von 0,1 mm (Exakt Trennschleifsystem 300 CL, Exakt, Norderstedt, Deutschland) unter Wasserkühlung durchtrennt.

Daraufhin wurden die Zahnproben mit dem Mikroschleifsystem Exakt 400 CS (Nassschleifpapier der Körnungen P 600, P 1200, P 4000, Exakt, Norderstedt, Deutschland) bei einer Drehzahl von ca. 100 Umdrehungen pro Minute plan geschliffen und poliert. Die Zahnproben wurden so präpariert, dass bei der folgenden lichtmikroskopischen Untersuchung die Schnittebene in senkrechter Aufsicht betrachtet werden konnte (Abb. 12).

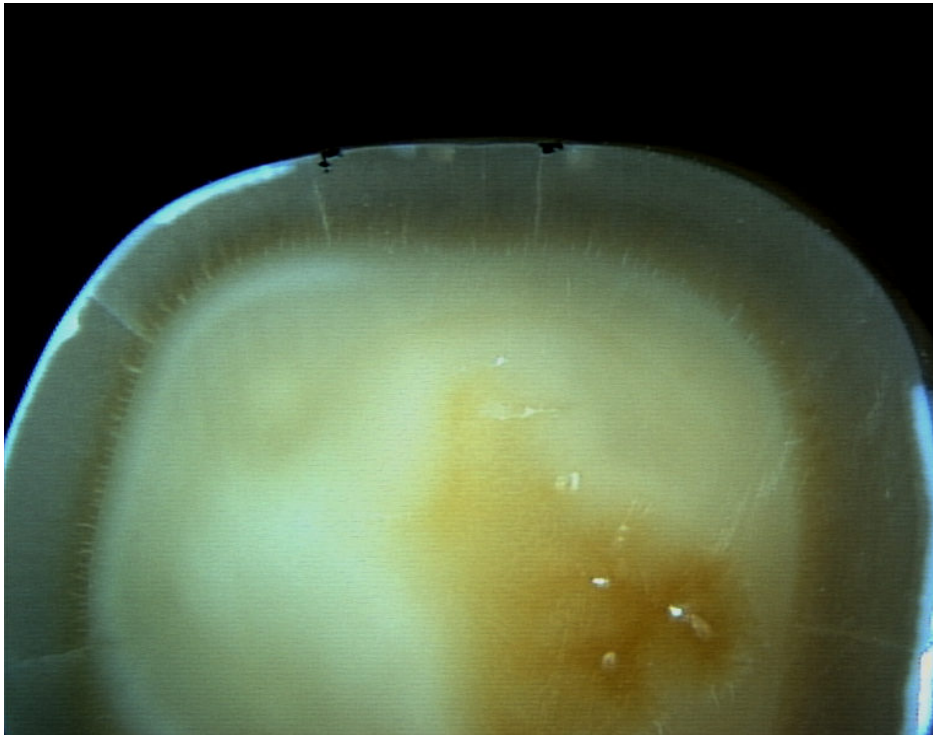


Abb. 12: Übersichtsaufnahme einer Zahnprobe, die zur Vorbereitung der lichtmikroskopischen Untersuchung zentrisch in mesiodistaler Richtung durchtrennt, geschliffen und poliert wurde.

4.8 Stereomikroskopische Untersuchung

Die Untersuchung erfolgte mit dem Stereo-Lichtmikroskop Stemi SV 11 (Carl Zeiss, Jena, Deutschland). Die Präparate wurden mit zwei Kaltlichtquellen (Schott KL 1500 electronic, Lampe 12 V, 150 Watt) beleuchtet, was unterschiedliche Lichteinstellungen ermöglichte und zu einer universellen Auflichtbeleuchtung führte.

Auf dem Kamerastativ des Mikroskops war hinter einem Strahlenteiler eine Videokamera (TK-1070E, Fa. JVC, Friedberg, Deutschland) installiert, die RGB-Bilder auf einen Monitor übertrug. Mit der messtechnischen Systemsoftware Image C (Imtronic, Berlin, Deutschland) wurden die Messstrecken direkt am Bildschirm festgelegt und abgelesen.

Die Vergrößerung ergab sich durch die Multiplikation der Einzelvergrößerungen des Okulars (1,6 x) und des Zoomobjektivs (0,8 x bis 6,6 x).

Das RGB-Videobild wurde auf einem 17-Zoll-Monitor dargestellt. Die Auflösung des Bildes betrug 512 x 512 Pixel, wobei ein Pixel 1,57 μm entsprach (Abb. 13a).

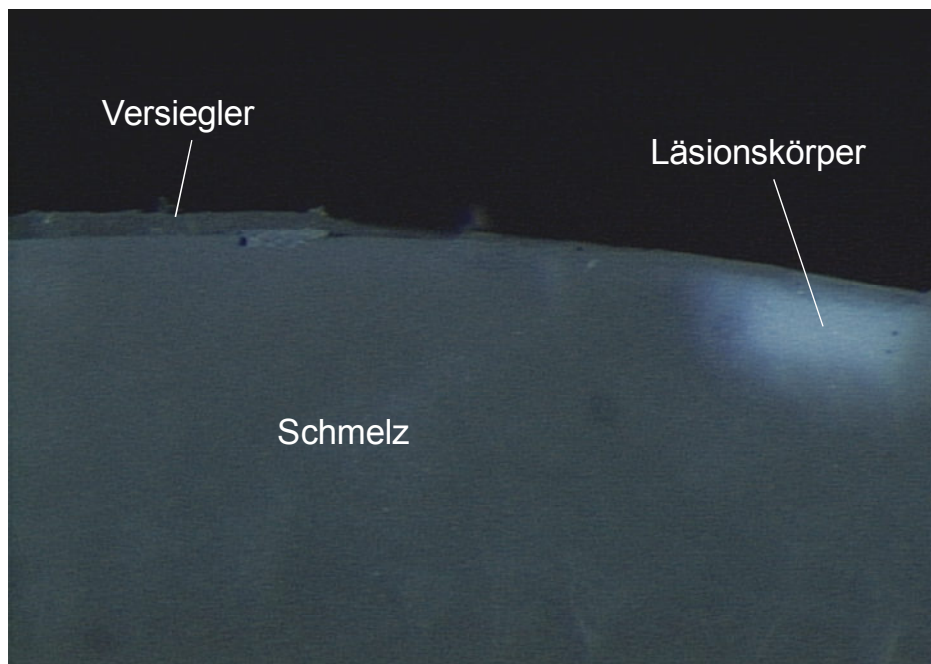


Abb. 13a: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Zahnprobe: Rückstände des Bracketumfeldversieglers, gesunder Schmelz, kariesähnliche Läsion.

Für die Auswertung mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramms Image C wurde jeweils der Messbereich sowohl im Testbereich A als auch im Testbereich C direkt neben der Negativkontrolle B gewählt. Bei den beiden Messbereichen jeder Zahnprobe wurden die Fläche der Demineralisation, die Strecke der Zahnoberfläche, die maximale und minimale Demineralisationstiefe sowie die Penetrationstiefe des verbliebenen Versieglers und dessen durchschnittliche Dicke gemessen (Abb. 13b).

Aus der gemessenen Fläche der Demineralisation und der ebenfalls bestimmten Strecke der Zahnoberfläche wurde die mittlere Läsionstiefe als Rechengröße ermittelt.

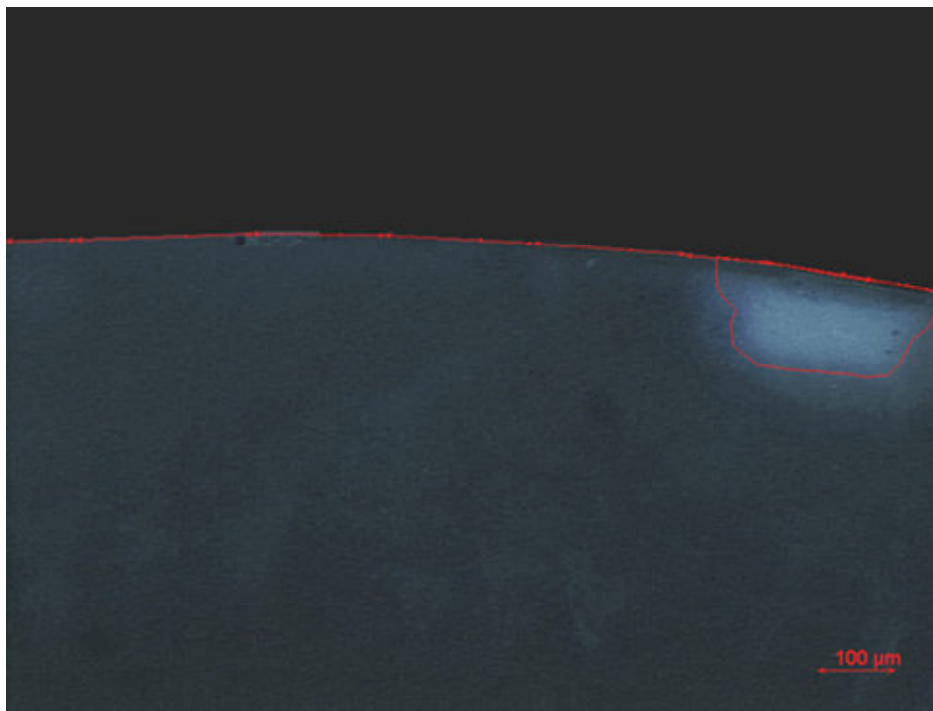


Abb. 13b: Lichtmikroskopische Aufnahme mit Markierungen der Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.

4.9 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft[®] Excel 2007 (Microsoft, Redmond, WA, USA) erfasst, die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm PASW[®] (Version 18 für Windows, SPSS, München, Deutschland).

Zunächst wurden folgende Parameter der einzelnen Versuchsreihen ermittelt:

- Mittelwert
- Standardabweichung
- Median
- Erstes und drittes Quartil (25er und 75er Perzentil).

Für die vergleichende statistische Auswertung wurde das Signifikanzniveau auf $p \leq 0,05$ festgesetzt. Im Weiteren wurden die ermittelten p-Werte folgendermaßen bewertet:

$p > 0,05$	nicht signifikant	n. s.
$p \leq 0,05$	signifikant	x
$p \leq 0,01$	hoch signifikant	xx

Die parametrischen Tests setzen normalverteilte Daten voraus. Daher muss zuerst überprüft werden, ob die gewonnenen Messwerte tatsächlich normalverteilt sind [196].

Für die Prüfung auf Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest verwendet. Ergibt dieser einen p-Wert $\leq 0,05$, ist die Voraussetzung erfüllt.

Bei vorliegender Normalverteilung wurden parametrische Tests angewendet [196]. Die einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA (Analysis of Variance) wurde zur Prüfung auf mögliche Abhängigkeiten zwischen den Versuchsgruppen herangezogen. Als Post-hoc-Test wurde der Tukey-Test angewandt, um zu prüfen, zwischen welchen Untergruppen signifikante Unterschiede bestanden. Bei Mehrfachtestungen wurde eine α -Adjustierung nach Tukey vorgenommen [196]. Auch mit den Werten der

Kontrollseite wurde eine ANOVA durchgeführt, um festzustellen, ob signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Kontrollen auszuschließen waren und somit eine Gleichheit der Werte vorlag. Mittels t-Test wurde überprüft, ob sich die einzelnen Ergebnisse der verschiedenen Versiegler im Vergleich zu ihrer Kontrollseite signifikant unterschieden.

4.10 Bestimmung des Methodenfehlers nach Dahlberg

Nach Dahlberg (1940) beschreibt der methodische Fehler das Ausmaß der Schwankungsbreite zweier ermittelter Messreihen derselben Grundgesamtheit [53]. Fehler, die während eines Messvorgangs durch den Untersucher oder bei der Identifizierung von Messpunkten auftreten, werden durch diese Methode quantitativ erfasst. Der zufällige Fehler lässt sich nur verringern, aber nicht eliminieren.

Der Methodenfehler betrifft den Fehler bei der Auswertung der Proben unter dem Lichtmikroskop. Dieser wird mit folgender Formel berechnet:

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

MF: Methodischer Fehler

d: Differenz zwischen den einzelnen wiederholten Messungen

n: Zahl der durchgeführten Doppelmessungen

Zur Analyse des Methodenfehlers nach *Dahlberg* wurden 20 lichtmikroskopische Aufnahmen zufällig ausgewählt und vom selben Untersucher an verschiedenen Tagen im Abstand von mindestens vier Wochen zweimal vermessen und analysiert. Hierbei wurden die Werte für die Strecke der Zahnoberfläche mit darunter liegender Demineralisation und die Fläche der Läsionen sowie die maximalen und minimalen Läsionstiefen gemessen.

4.11 Grafische Darstellung als Boxplots

Die grafische Darstellung der Messwerte erfolgt als Boxplots (Abb. 14, Tab. 3).

Tab. 3: Zusammenfassung der Kennwerte für die grafische Darstellung

Kennwert	Beschreibung	Lage im Boxplot
Minimum	Kleinsten Datenwert des Datensatzes	Ende eines Whiskers
Unteres Quartil	Die kleinsten 25 % der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert.	Beginn der Box
Median	Dieser Wert trennt eine Verteilung in zwei gleich große Hälften. Die kleinsten 50 % der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert.	Senkrechter Strich innerhalb der Box
Oberes Quartil	Die kleinsten 75 % der Datenwerte sind kleiner oder gleich diesem Kennwert.	Ende der Box
Maximum	Größter Datenwert des Datensatzes	Ende eines Whiskers
Ausreißer	Messwert, der nicht in eine erwartete Messreihe passt oder nicht den Erwartungen entspricht	Abstand der Werte zum oberen oder unteren Quartil beträgt mehr als das 1,5-fache der Boxhöhe - als Kreis dargestellt
Extremer Ausreißer		Abstand extremer Werte zum oberen oder unteren Quartil beträgt mehr als das Dreifache der Boxhöhe - als Sternchen dargestellt
Spannweite	Gesamter Wertebereich des Datensatzes	Länge des gesamten Boxplots (inklusive Ausreißer)
Interquartilsabstand	Wertebereich, in dem sich die mittleren 50 % der Daten befinden	Ausdehnung der Box

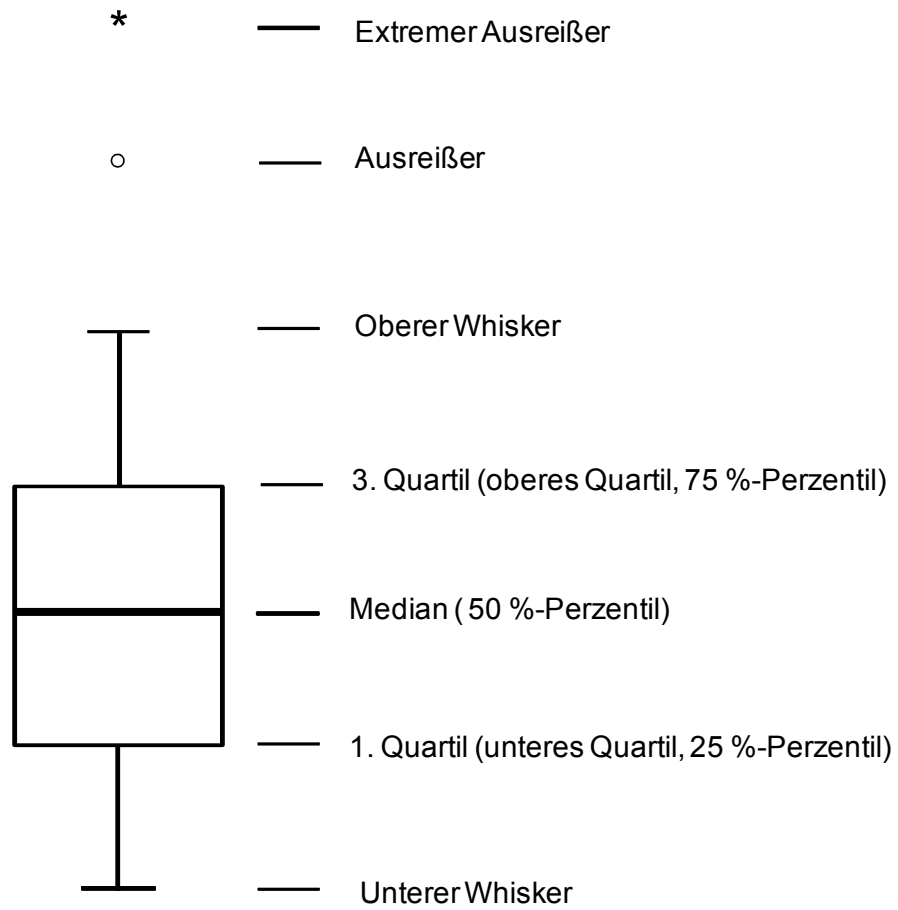


Abb. 14: Grafische Darstellung und Erläuterung eines Boxplots.

5 Ergebnisse

Die behandelten Zahnproben zeigten schon beim makroskopischen Betrachten deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von den untersuchten Produkten. Für die Auswertung wurden die Läsionen der einzelnen Proben in lichtmikroskopischen Aufnahmen ausgemessen und ausgewertet.

5.1 Vergleich der Kontrollseiten

Die Versuchsbedingungen sollten bei dieser Untersuchung für alle Zahnproben gleich sein. Die statistische Auswertung für die Kontrollseiten aller Zahnproben erfolgte mittels ANOVA, um eine Gleichheit der Ausgangssituation zu gewährleisten. Bei allen Kontrollseiten zeigten sich unabhängig von der Versuchsgruppe deutliche Demineralisationen (Abb. 15).

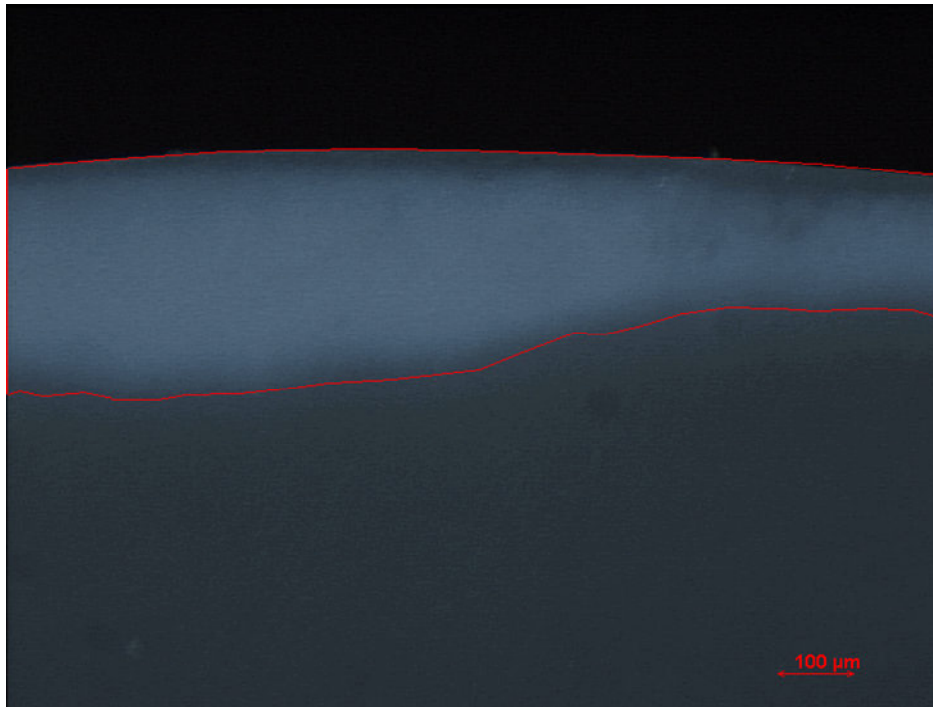


Abb. 15: Lichtmikroskopische Aufnahme eines Ausschnitts einer Kontrollseite (ohne Versiegelungslack). Mittels Ausmessen der Läsion in der lichtmikroskopischen Aufnahme wurden die Fläche der Demineralisation, die Oberfläche der Zahnprobe sowie die maximale und die minimale Läsionstiefe ermittelt.

Zwischen den einzelnen Kontrollgruppen, das heißt unbehandelte Zahnflächen ohne Versiegelungsmaterialien der verschiedenen Zahngruppen, deren andere Seite mit unterschiedlichen Versiegelungslacken versehen wurde, bestand kein signifikanter Unterschied in der mittleren Läsionstiefe und in der Größe der demineralisierten Fläche ($p > 0,05$). Auch die einzelnen Medianwerte unterschieden sich nicht signifikant (Abb. 16a und b).

Ergebnisse

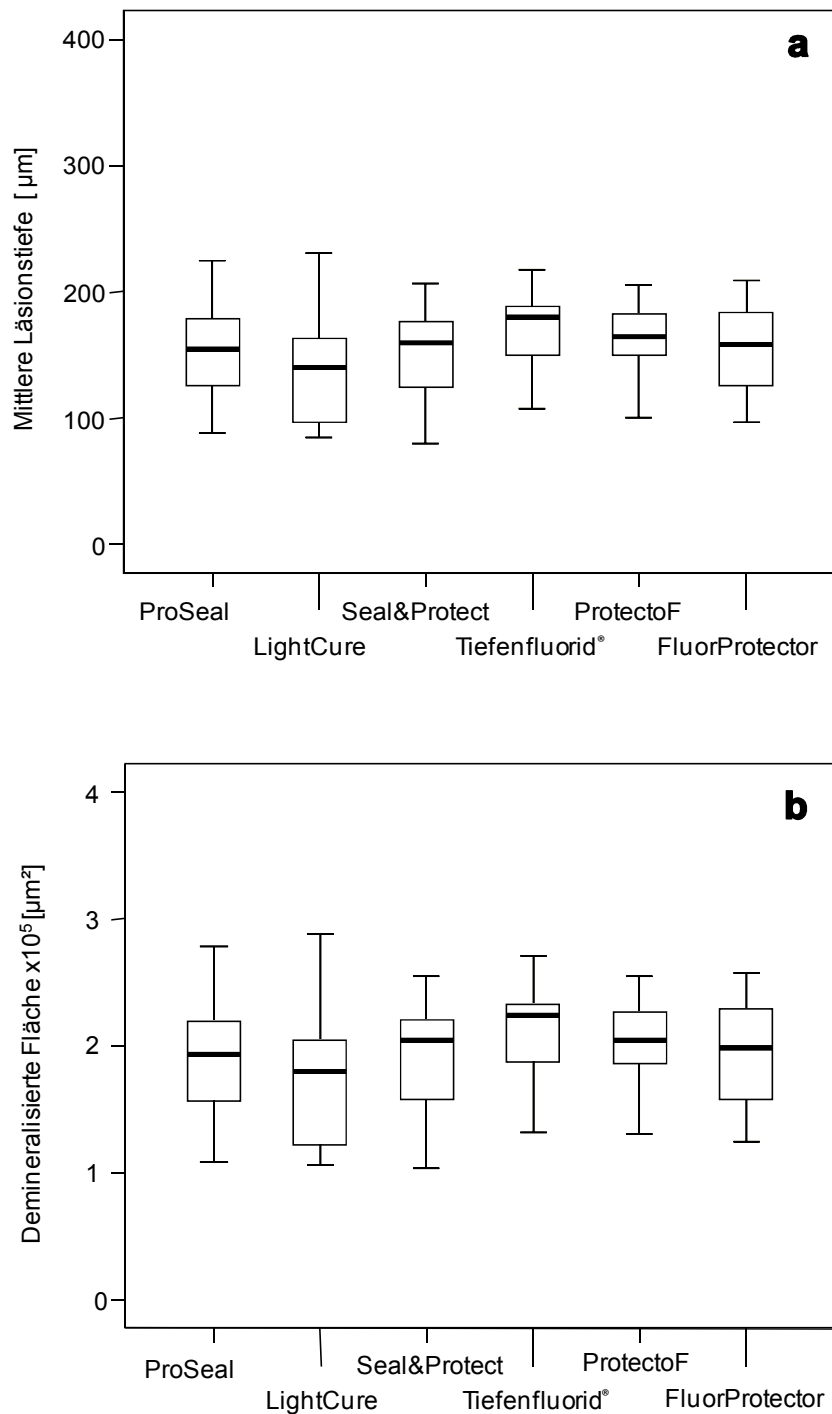


Abb. 16a und b: Boxplot-Darstellung der demineralisierten, nicht versiegelten Kontrollflächen: a) Mittlere Läsionstiefen; b) Demineralisierte Flächen. Die Überprüfung der Kontrollseiten auf signifikante Unterschiede erfolgte mittels Varianzanalyse (ANOVA).

Somit konnte man von vergleichbaren Ausgangsbedingungen bei den Versuchsreihen ausgehen und die Kontrollen zusammenfassen. Für die Kontrollen galten somit folgende Werte (Tab. 5):

Tab. 5: Die durchschnittlichen Werte aller Kontrollseiten

	Fläche [μm^2]	Mittlere Läsionstiefe [μm]	Maximale Läsionstiefe [μm]	Minimale Läsionstiefe [μm]
Mittelwert	194.594,90	155,60	228,41	116,90
Standardabweichung	45.129,60	36,81	79,99	49,90
Median	200.463,00	158,60	222,38	115,07
1. Quartil	163.701,25	130,16	175,81	78,58
3. Quartil	228.621,00	184,42	265,92	142,57

5.2 Vergleich der versiegelten Zahnflächen mit den Kontrollflächen

Beim folgenden Vergleich zwischen den Kontrollflächen und den kontralateralen mit verschiedenen Produkten versiegelten Zahnflächen wurden die jeweils auf den gleichen Zähnen verwendeten Werte und nicht die gezeigten Gesamtwerte aller Kontrollen verwendet.

5.2.1 ProSeal

Von den 20 mit ProSeal versiegelten Zähnen, wies im Bereich der ProSeal-Abdeckung nach sieben Tagen im Demineralisationsbad nur eine Probe messbare Demineralisationen auf, die anderen Produktseiten sind läsionsfrei (Abb. 17).

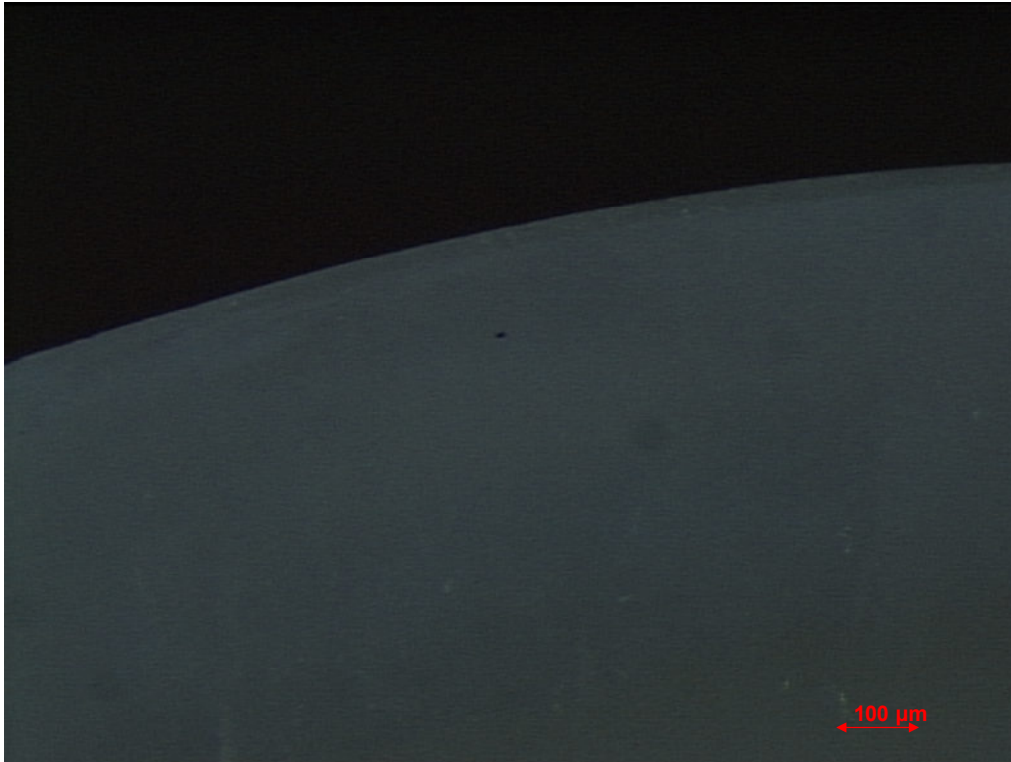


Abb. 17: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Probenseite mit ProSeal.

Für die untersuchte Zahnfläche dieser Zahnprobe ergaben sich folgende Werte (Tab. 6).

Tab. 6: Messwerte der 20 Probenseiten mit ProSeal

	Fläche [μm^2]	Mittlere Läsionstiefe [μm]	Maximale Läsionstiefe [μm]	Minimale Läsionstiefe [μm]
Mittelwert	1166,55	0,94	6,32	3,89
Standardabweichung	0	0	0	0
Median	0	0	0	0
1. Quartil	0	0	0	0
3. Quartil	0	0	0	0

Die Probenseiten unterschieden sich von den unbehandelten demineralisierten Kontrollseiten hochsignifikant ($p < 0,01$) sowohl bei der mittleren Läsionstiefe als auch bei der Fläche der Demineralisation (Abb. 18a und b).

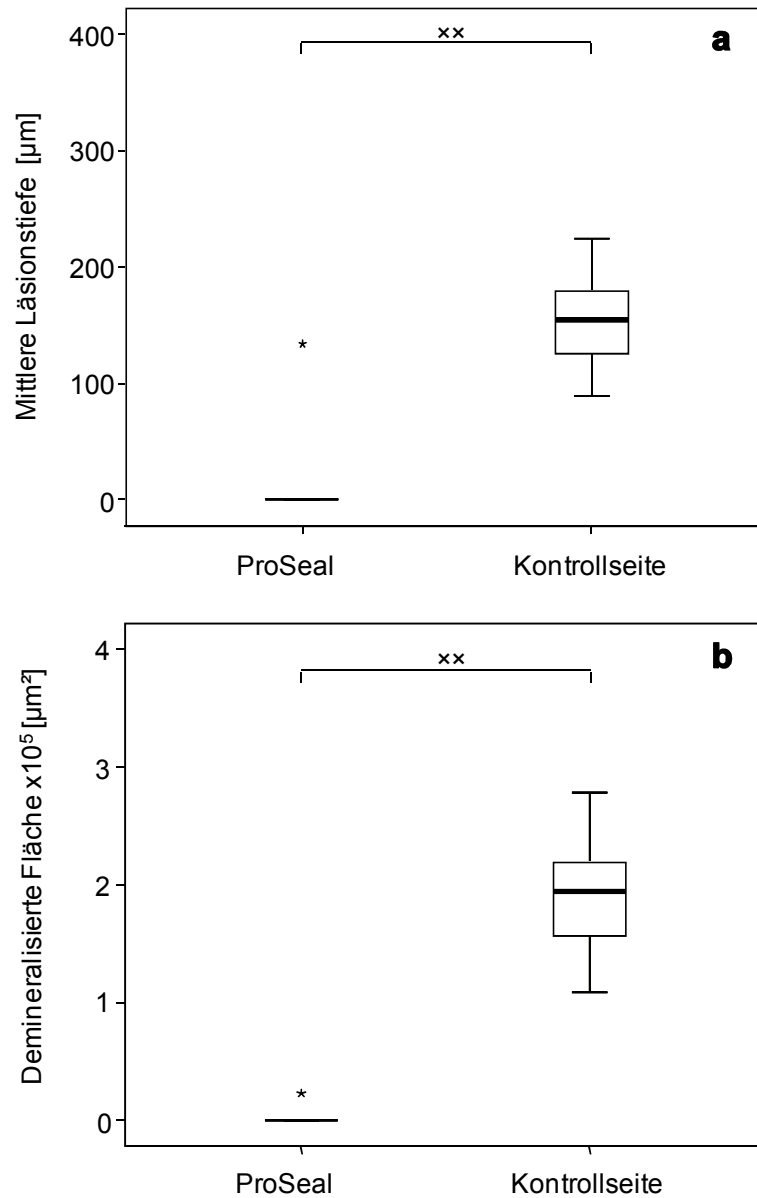


Abb. 18a und b: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit ProSeal im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.

××: Hoch signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.

Nach der Behandlung mit ProSeal waren auf den Zahnoberflächen noch Rückstände des Versieglers zu erkennen. Der Versiegler bedeckte bei den meisten Proben die experimentelle Fläche vollständig. Bei einigen Proben war der Versiegler nur noch in kleineren Inseln auf der Oberfläche der Zahnprobe vorhanden. Die Schichtdicke betrug an der breitesten Stelle maximal 40-45 μm (Abb. 17).

5.2.2 LightCure

Im lichtmikroskopischen Vergleich der mit LightCure versiegelten Proben- und der unbehandelten Kontrollseiten waren im Bereich der Proben- und der Kontrollseiten deutlich Demineralisationen zu erkennen (Abb. 19).

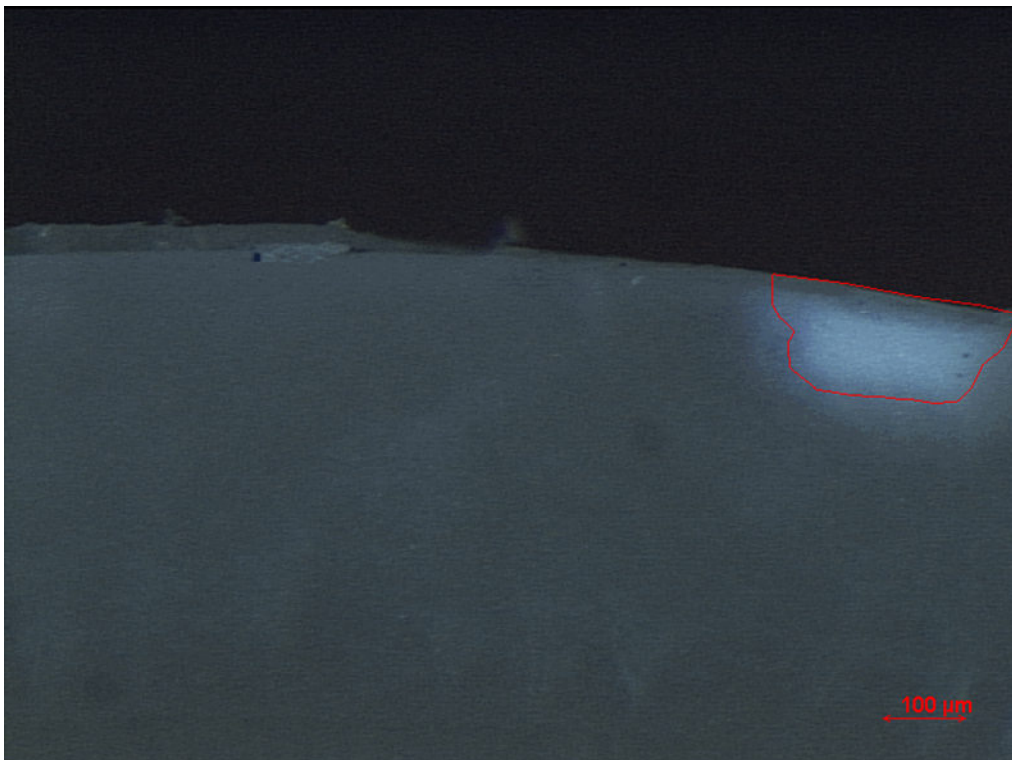


Abb. 19: Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit LightCure versiegelten Zahnes mit markierter Demineralisationsfläche und der Oberfläche des untersuchten Ausschnitts.

Ergebnisse

Die Läsionen waren klein und ungleichmäßig tief über die Oberfläche verteilt (Tab. 7). Sechzehn der 20 untersuchten Zähne zeigten auf den mit LightCure behandelten Zahnflächen ausgeprägte Läsionen.

Tab. 7: Messwerte der 20 Probenseiten mit LightCure

	Fläche [μm^2]	Mittlere Läsionstiefe [μm]	Maximale Läsionstiefe [μm]	Minimale Läsionstiefe [μm]
Mittelwert	135.220,83	108,14	203,86	98,42
Standardabweichung	118.912,57	95,43	135,71	91,29
Median	124.201,05	98,82	220,92	91,78
1. Quartil	23.834,15	19,23	118,54	17,98
3. Quartil	227.346,50	181,85	292,01	130,16

Die Werte der mittleren Läsionstiefe und der demineralisierten Fläche der Proben- und Kontrollseite unterschieden sich nicht signifikant. Die Ergebnisse der einzelnen Proben variierten stark, so dass sich eine hohe Streuung der ermittelten Werte ergab (Abb. 20a und b).

Ergebnisse

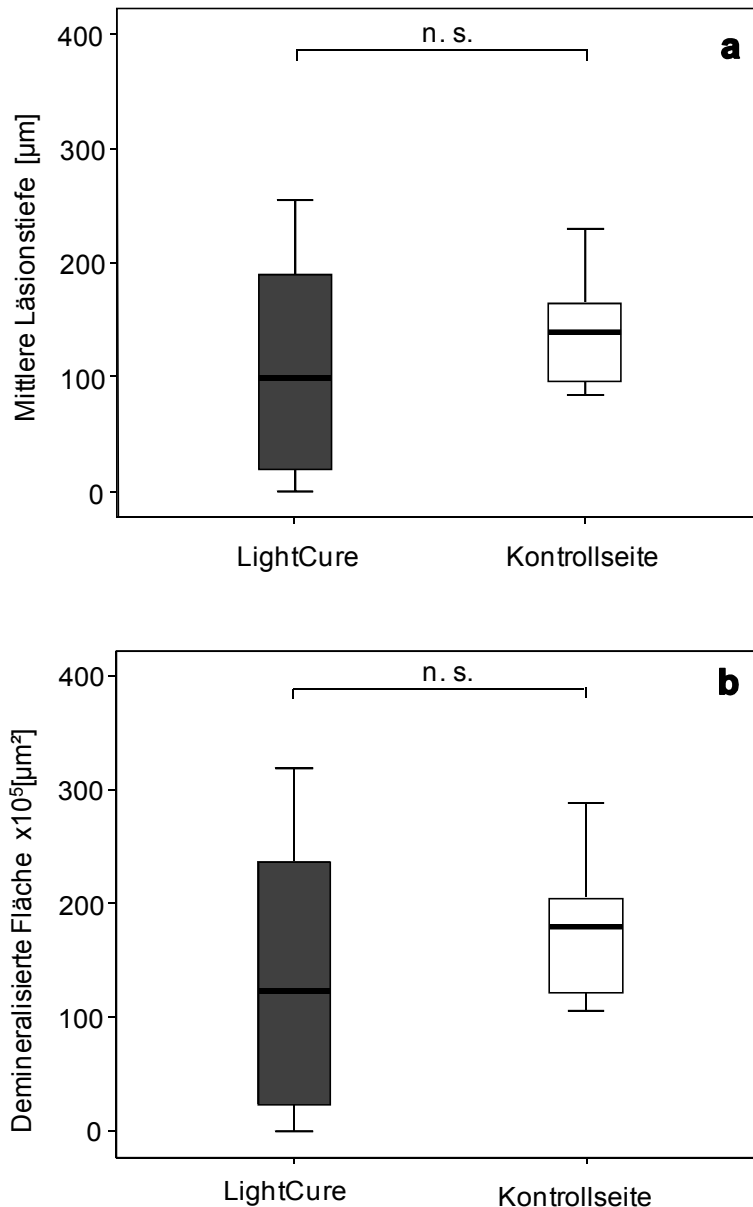


Abb. 20a und b: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit LightCure im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.

n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.

Bei der LightCure-Gruppe wurden nur kleinere Rückstände des Versieglers auf den Probenoberflächen ermittelt. Die Schichtdicke betrug an der breitesten Stelle der Inseln im Durchschnitt $23 \mu\text{m}$ (Abb. 19).

5.2.3 Seal&Protect

Die Zähne dieser Gruppe wurden auf der Versuchsseite mit dem fluoridhaltigen Versiegler Seal&Protect versiegelt. Nach Lagerung für sieben Tage im Demineralisationsbad zeigten die Zahnproben deutliche Demineralisationen, die jedoch tendenziell geringer waren als auf der unbehandelten Kontrollseite (Abb. 21, Tab. 8). Versieglerreste waren bei keinem der untersuchten 20 Zähne zu erkennen.

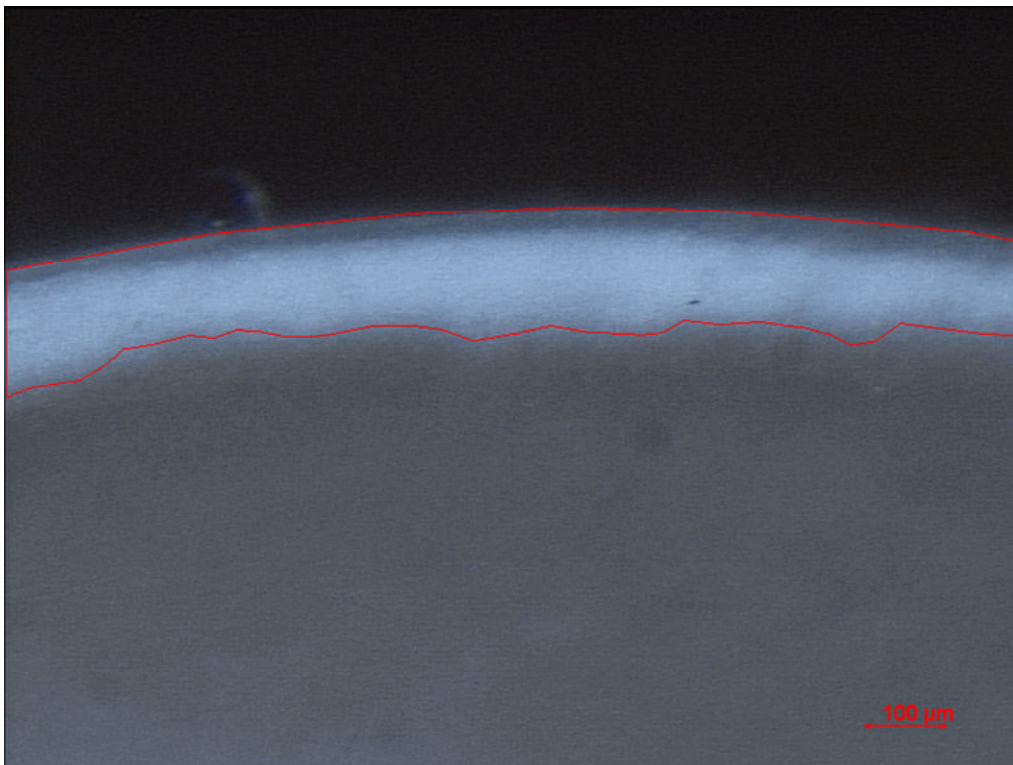


Abb. 21: Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit Seal&Protect versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.

Ergebnisse

Tab. 8: Messwerte der 20 Probenseiten mit Seal&Protect

	Fläche [μm^2]	mittlere Läsionstiefe [μm]	maximale Läsionstiefe [μm]	minimale Läsionstiefe [μm]
Mittelwert	149.922,00	119,99	194,72	92,50
Standardabweichung	79.404,03	63,72	88,46	44,08
Median	177.318,00	137,90	213,85	97,20
1. Quartil	98.578,50	79,10	137,33	61,61
3. Quartil	207.394,50	165,42	228,02	119,22

Die Boxplot-Darstellung zeigt sowohl bei der mittleren Läsionstiefe als auch bei der Demineralisationsfläche große Spannweiten (Abb. 22a und b).

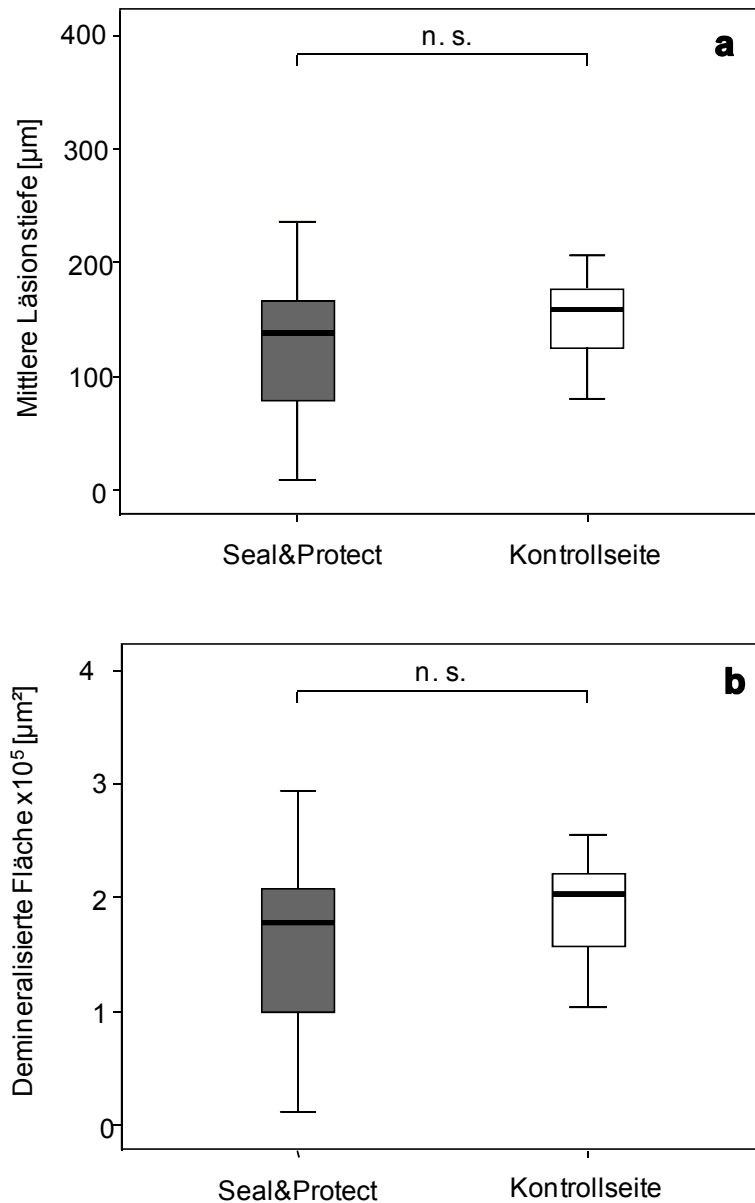


Abb. 22a und b: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit Seal&Protect im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.

n. s.: Nicht signifikanter Unterschied lau t-Test für abhängige Stichproben.

5.2.4 Tiefenfluorid

Die Proben dieser Versuchsgruppe wurden mit dem Fluoridpräparat behandelt, das aus zwei nacheinander aufzubringenden Lösungen besteht.

Nach der thermischen, abrasiven und chemischen Behandlung zeigten alle 20 Zahnproben Demineralisationen. Im lichtmikroskopischen Bild stellten sich

gleichmäßige und deutliche Demineralisationsflächen dar (Abb. 24), die sich von den Kontrollseiten kaum unterschieden (Tab. 9, Abb. 24a und b). Rückstände von Tiefenfluorid waren nicht zu erkennen (Abb. 23).

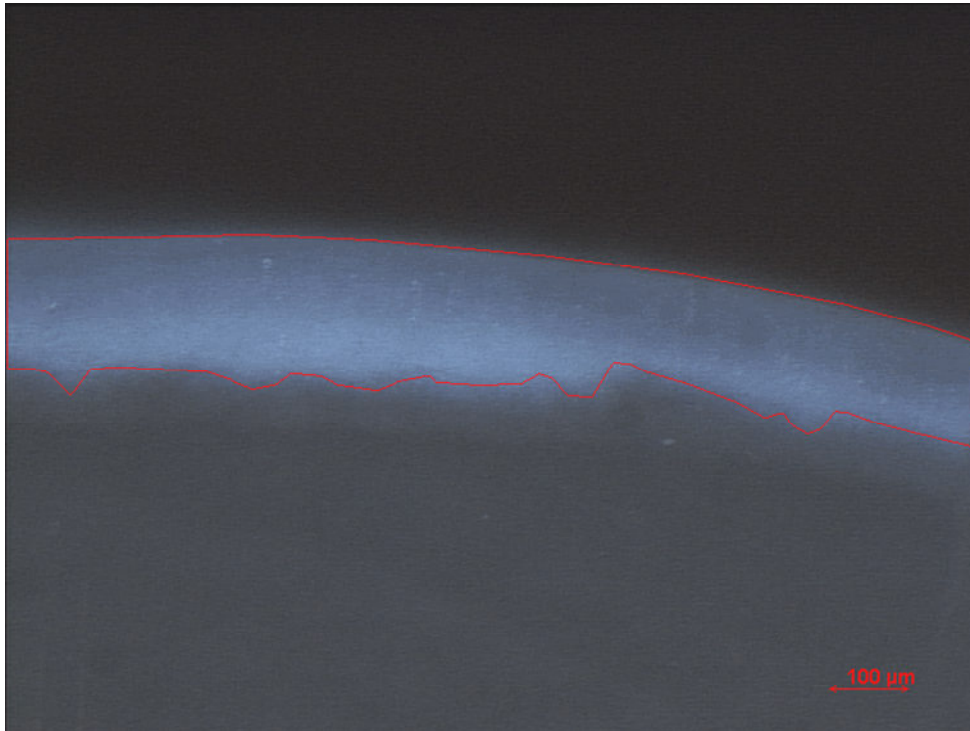


Abb. 23: Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit Tiefenfluorid versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.

Tab. 9: Messwerte der 20 Probenseiten mit Tiefenfluorid

	Fläche [µm ²]	Mittlere Läsionstiefe [µm]	Maximale Läsionstiefe [µm]	Minimale Läsionstiefe [µm]
Mittelwert	193.218,49	154,88	225,17	116,17
Standardabweichung	71.869,30	57,51	77,04	58,31
Median	193.384,00	155,18	236,70	115,83
1. Quartil	159.490,50	127,31	182,59	82,70
3. Quartil	221.612,00	175,47	276,40	137,36

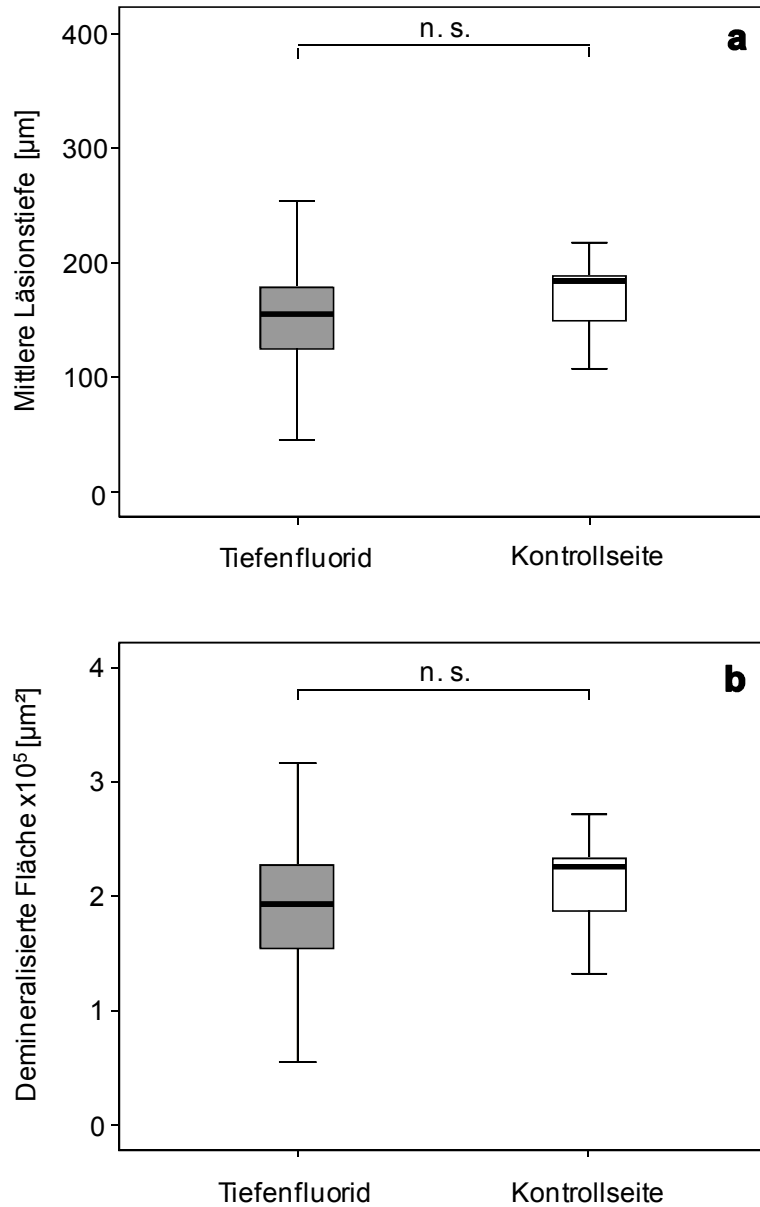


Abb. 24a und b: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit Tiefenfluorid im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.

n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.

5.2.5 ProtectoF

Die 20 Zähne dieser Versuchsgruppe wurden mit dem Fluorid freisetzenden Lack ProtectoF behandelt.

Die lichtmikroskopischen Aufnahmen der Zahnproben zeigten gleichmäßig demineralisierte Flächen, die sich von den unbehandelten Kontrollseiten nicht signifikant unterschieden. Die Demineralisationen der Probenseite wiesen aber eine größere Streuung auf als diese der Kontrollseiten (Abb. 25, Tab. 10, Abb. 26a und b).

Lichtmikroskopisch waren bei allen ProtectoF-Proben keine Rückstände des Materials auf der Zahnoberfläche zu erkennen (Abb. 25).

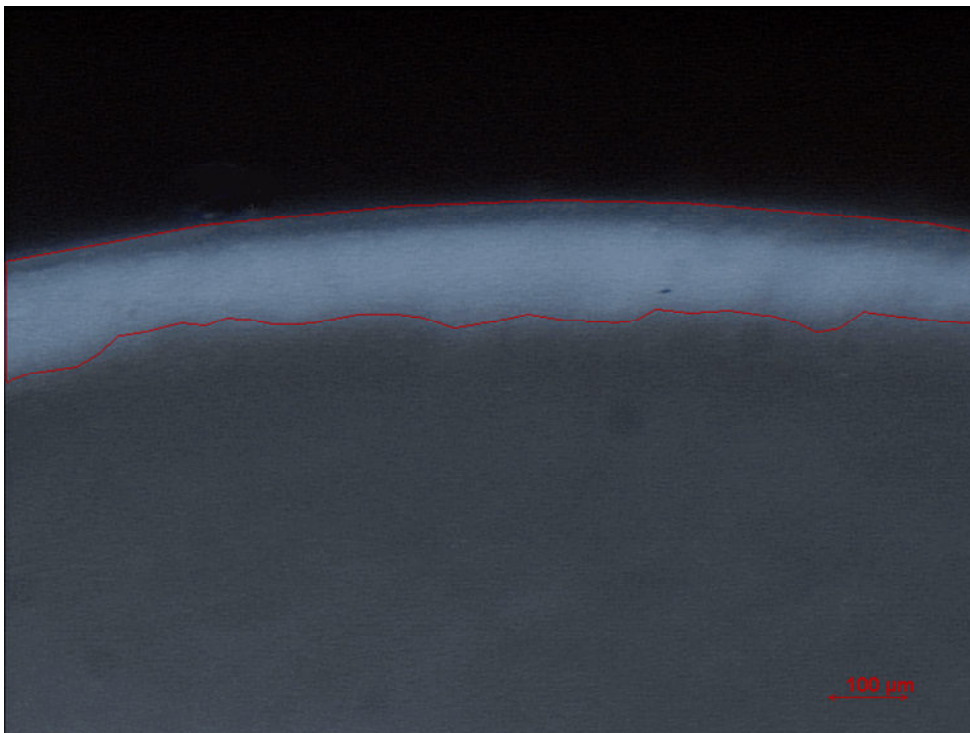


Abb. 25: Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit ProtectoF versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.

Ergebnisse

Tab. 10: Messwerte der 20 Probenseiten mit ProtectoF

	Fläche [μm^2]	Mittlere Läsionstiefe [μm]	Maximale Läsionstiefe [μm]	Minimale Läsionstiefe [μm]
Mittelwert	185.320,34	149,18	216,56	112,23
Standardabweichung	79.545,52	64,30	71,46	57,56
Median	177.771,50	142,99	206,66	109,56
1. Quartil	133.409,75	107,51	156,97	57,33
3. Quartil	229.552,50	185,66	245,38	140,82

Ergebnisse

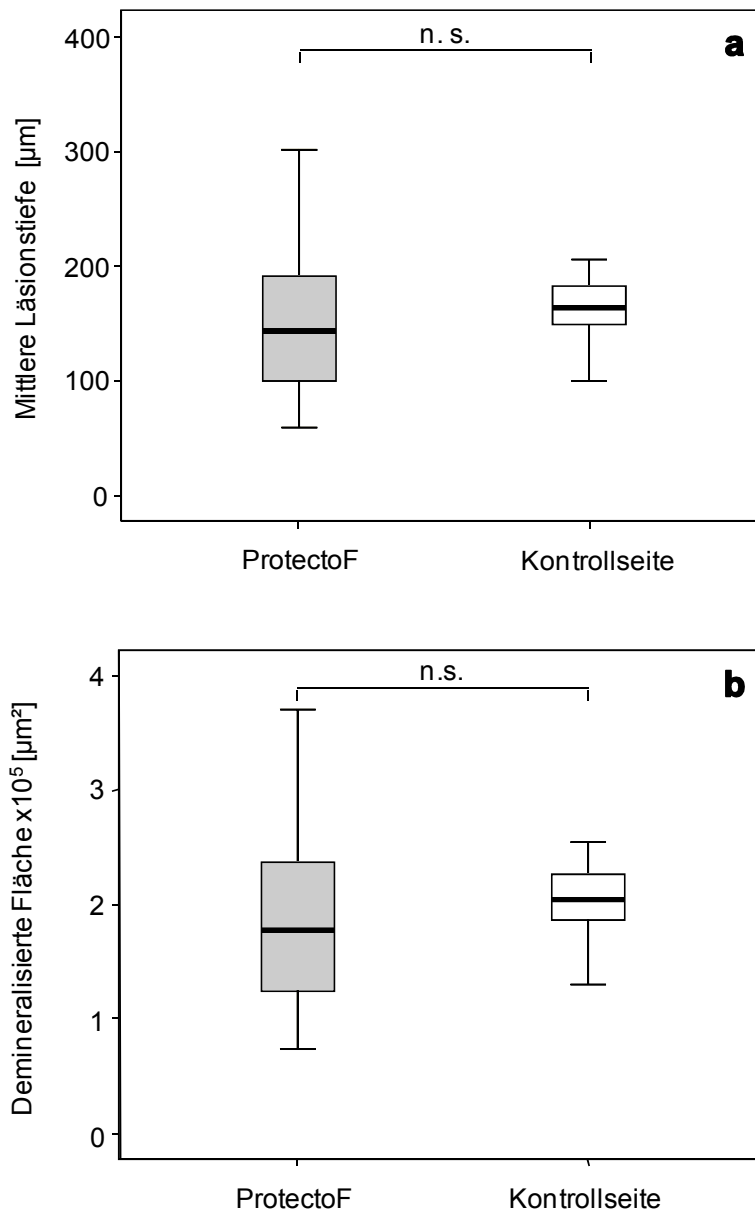


Abb. 26a und b: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit ProtectoF im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.

n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.

5.2.6 FluorProtector

Die 20 Zähne dieser Versuchsgruppe wurden mit dem Fluoridlack FluorProtector behandelt.

Alle Zahnproben zeigten gleichmäßige, tief ausgeprägte Läsionen, die sich nicht signifikant von der Kontrollseite unterschieden (Abb. 27, Tab. 11, Abb. 28a und b).

Lichtmikroskopisch waren auf den Zahnoberflächen keine Rückstände des Materials erkennbar (Abb. 27).

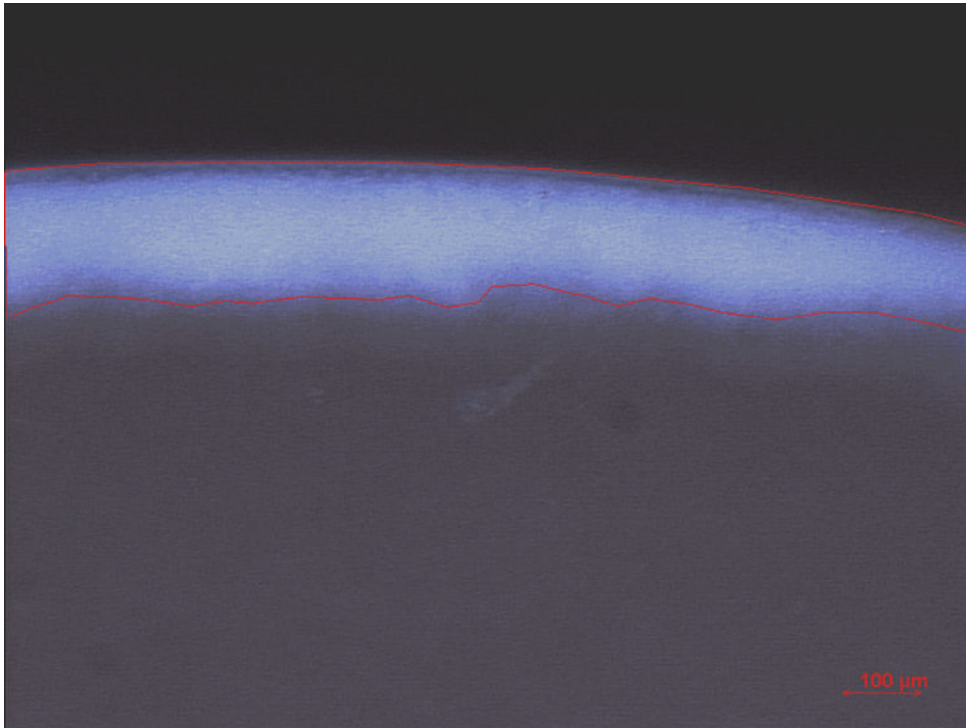


Abb. 27: Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit FluorProtector versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.

Tab. 11: Messwerte der 20 Probenseiten mit FluorProtector

	Fläche µm ²	Mittlere Läsionstiefe [µm]	Maximale Läsionstiefe [µm]	Minimale Läsionstiefe µm]
Mittelwert	229.808,40	184,47	227,85	145,59
Standardabweichung	61.997,86	49,67	62,35	39,11
Median	229.808,40	184,32	223,45	145,59
1. Quartil	198.549,00	160,45	195,54	115,03
3. Quartil	251.071,00	201,57	249,49	165,30

Ergebnisse

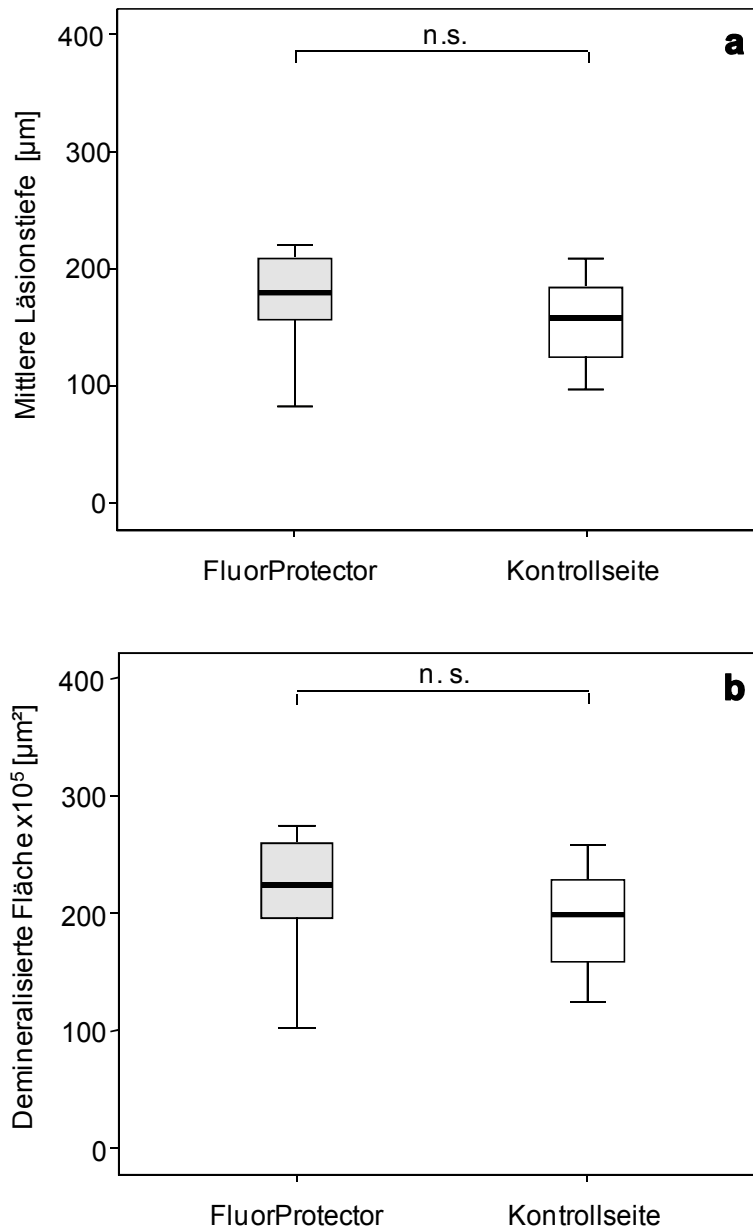


Abb. 28a und b: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit FluorProtector im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.

n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.

5.3 Vergleich zwischen den verschiedenen Produkten

5.3.1 Vergleich der mittleren Läsionstiefen

In Abbildung 29 werden die Läsionstiefen in den verschiedenen Gruppen und die Ergebnisse der Varianzanalyse und des Tukey-Test zum Vergleich der mittleren Läsionstiefen der verschiedenen Produkte zusammengestellt.

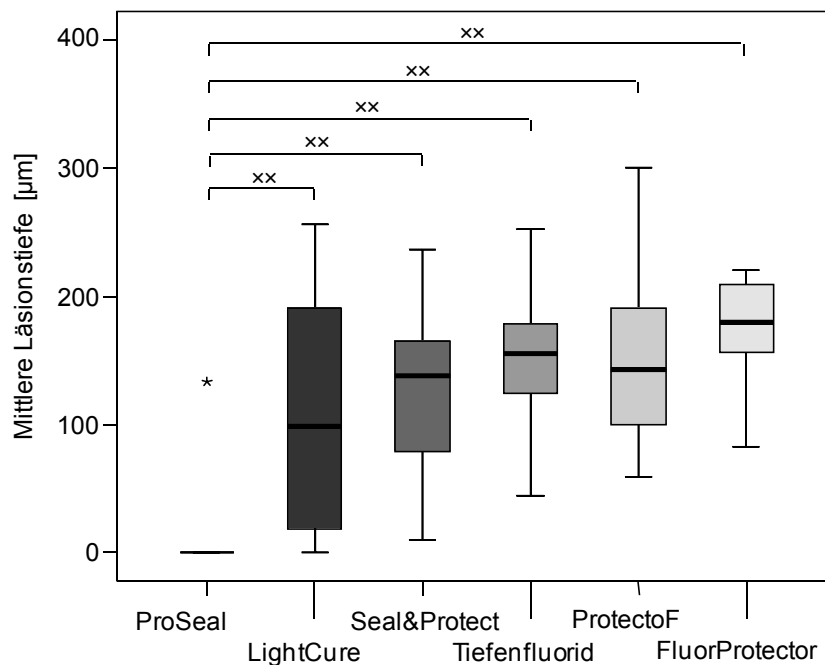


Abb. 29: Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen der mit den verschiedenen Produkten behandelten Proben Seiten.

xx: Hoch signifikanter Unterschied laut Varianzanalyse ANOVA ($p < 0,01$).

Nur die Ergebnisse des Versieglers ProSeal unterschieden sich hoch signifikant von den Ergebnissen der anderen Produkte. Zwischen den anderen Materialien bestanden keine signifikanten Unterschiede.

5.3.2 Vergleich der demineralisierten Flächen

In Abbildung 30 werden die demineralisierten Flächen in den verschiedenen Gruppen und die Ergebnisse der Varianzanalyse und des Tukey-Test zum Vergleich der Demineralisationsflächen der verschiedenen Produkte zusammengestellt.

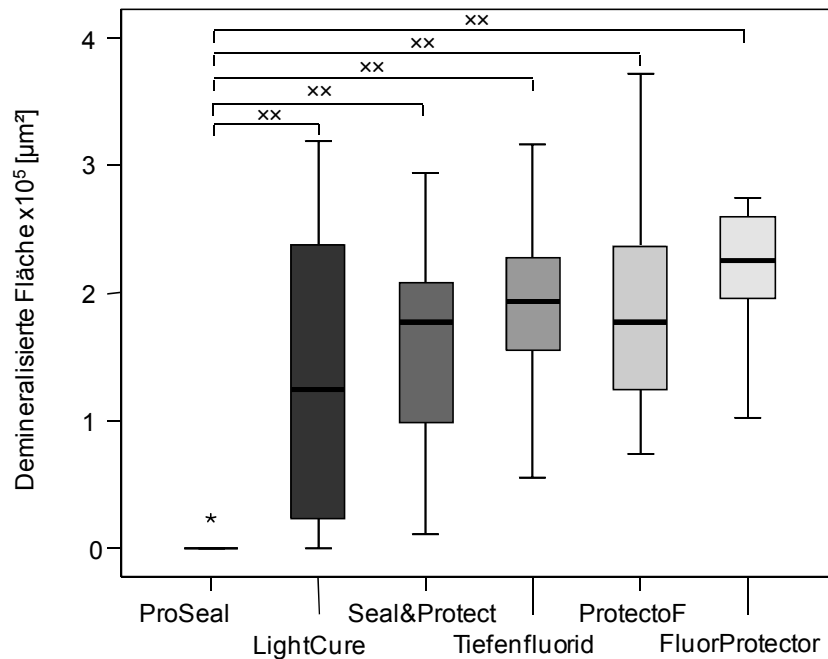


Abb. 30: Boxplot-Darstellung der demineralisierten Flächen der mit den verschiedenen Produkten behandelten Proben Seiten.

** : hoch signifikanter Unterschied laut Varianzanalyse ANOVA ($p < 0,01$).

Wie bei der mittleren Läsionstiefe unterschieden sich bei den demineralisierten Flächen nur die Ergebnisse des Versieglers ProSeal hochsignifikant von den Ergebnissen der anderen Produkte. Zwischen den anderen Materialien bestanden keine signifikanten Unterschiede.

5.4 Methodenfehler nach Dahlberg

Zur Prüfung der Zuverlässigkeit der Messungen wurden 20 der mikroskopischen Aufnahmen zweimal im Abstand von etwa vier Wochen vermessen und für die verschiedenen Messgrößen die Methodenfehler nach Dahlberg bestimmt (Tab. 12).

Tab. 12: Methodenfehler der untersuchten Messwerte. Ermittelt wurde der Methodenfehler nach der Formel von Dahlberg für alle gemessenen Werte der Proben- und Kontrollseite.

Messwert	Methodenfehler
Strecke der Probenoberfläche	2,85 μm
Fläche der Demineralisation	273,94 μm^2
Mittlere Läsionstiefe	0,93 μm
Maximale Läsionstiefe	2,27 μm
Minimale Läsionstiefe	1,78 μm

Der berechnete Methodenfehler ergab nach den erneuten 20 Messungen für die mittlere Läsionstiefe 0,93 μm und für die Fläche der Demineralisation 273,94 μm^2 .

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Fragestellung

Eine kieferorthopädische Apparatur ist nicht die Ursache von Karies, aber sie erschwert die Mundhygiene der Patienten [140]. Durch Brackets und andere kieferorthopädische Apparaturen entstehen vermehrt Plaque-Nischen, die sich nur mit erhöhtem Aufwand reinigen lassen. Zusätzliche Hilfsmittel, wie zum Beispiel Interdentalbürstchen oder Zahnseide, sollen den Patienten die tägliche Mundhygiene erleichtern [23, 27]. Eine Multibracket-Behandlung erstreckt sich oftmals über mehrere Jahre. Dabei wird der nötige erhöhte Aufwand für eine ausreichende Mundhygiene von vielen Patienten nicht über den gesamten Zeitraum konstant beibehalten [94, 159].

Lovrov et al. berichten über eine Zunahme oder Vergrößerung von Schmelzdemineralisationen um 24,8 % binnen 12-18 Monaten orthodontischer Behandlung. Vor der Behandlung wiesen 97,5 % keine White-Spot-Läsionen der Zähne auf; nach der Behandlung waren es nur noch 73,6 %. Die Zunahme der initialkariösen Läsionen betraf in dieser Studie hauptsächlich die Prämolaren (34,4 %) und die Frontzähne (28,1 %), weniger die Molaren (11,8 %) [140]. *Pancherz* und *Mühlisch* stellten bei 29,4 % der Zähne unter Multibrackettherapie neue oder verstärkte White-Spot-Läsionen fest [173].

In der vorliegenden Studie wurden die drei Versiegler ProSeal, LightCure und Seal&Protect sowie die drei Fluoridpräparate Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector auf ihre Eignung zur Kariesprävention im Bracketumfeld geprüft, indem *in vitro* ihre Wirksamkeit zur Vermeidung von initialen Schmelzläsionen unter mechanischen, thermischen und chemischen Einflüssen untersucht wurde. Alle Materialien wurden gemäß Herstellerangaben verarbeitet. Das Versuchsdesign sollte einen Belastungszeitraum von drei Monaten simulieren. Für diesen Zeitraum wird von den Herstellern für alle untersuchten Produkte eine kariespräventive Wirkung proklamiert.

6.2 Diskussion der Materialien und Methoden

6.2.1 Verwendete und untersuchte Materialien

Die Entstehung von Schmelzdemineralisationen, sogenannte White-Spot-Läsionen sind die unerwünschten Nebeneffekte bei der kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen [15, 143, 148, 256]. Für diesen Fall ist eine Behandlung der Zahnhartsubstanz im Bracketumfeld mit fluoridhaltigen Versiegler und Lacken heute eine häufig vorgeschlagene und praktizierte Methode, um die Entstehung von Karies in diesen besonders gefährdeten Gebieten vorzubeugen [61, 116, 165, 206, 235].

In dieser Studie wurden sechs verschiedene Materialien ausgewählt, die zur Aufgabe die Kariesprävention während der festsitzenden Behandlung haben. Als Materialien wurden sowohl fluoridhaltige Kunststoffversiegler als auch Fluoridlacke verwendet. Die Materialien unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung, ihrer Konsistenz, ihrem Verarbeitungsablauf und ihrer Wirkungsweise. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Glattflächenversiegler ProSeal, LightCure und Seal&Protect sowie die Fluoridlacke Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector hinsichtlich ihrer Effektivität und kariesprotektiven Wirkung durch langfristige Fluoridabgabe zu untersuchen und die gewonnenen Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

Die in dieser Studie untersuchten Versiegler ProSeal und LightCure werden mittels vorheriger Konditionierung auf die Zähne aufgetragen und anschließend durch Lichtpolymerisation ausgehärtet. Der Versiegler Seal&Protect wird ohne vorherige Schmelz-Ätz-Technik appliziert, jedoch ebenfalls mittels Lichtpolymerisation behandelt. ProSeal ist ein häufig untersuchter und schon länger im Handel erhältlicher fluoridabgebender Kunststoffversiegler. In einigen Studien wurde bereits die kariesprotektive Wirkung des Präparats untersucht und bestätigt [41, 44, 116, 220]. Der Versiegler ProSeal stellt somit ein Standardprodukt in der Bracketumfeldbehandlung dar. Die beiden anderen fluoridhaltigen Versiegler LightCure und Seal&Protect sind neue Präparate, über die bisher noch keine vergleichbaren Studien über ihre Effektivität und Abrasionsfestigkeit vorliegen. Diese beiden Versiegler könnten eine weitere Möglichkeit beziehungsweise eine Alternative zum bisher bekannten ProSeal darstellen.

Fluoridlacke sind eine weitere Möglichkeit zur Prävention von White-Spot-Läsionen während der Multibracket-Behandlung. Die hier verwendeten Fluoridlacke Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector werden mittels Applikationspinsel in den Schmelz einmassiert. Die Zahnoberfläche muss jedoch nicht vor dem Auftragen konditioniert werden. FluorProtector stellt wie ProSeal bei den Versiegler einen schon länger etablierten Fluoridlack dar. Einige Studien untersuchten die Wirksamkeit von FluorProtector und kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen [60, 165, 213, 223, 238]. Bei ProtectoF handelt es sich um einen neuen Fluoridlack. Dieser Lack dringt laut Hersteller in die oberste Schmelzschicht ein, versiegelt diese ohne zusätzliche Lichthärtung und soll durch langfristige Fluoridabgabe eine Schutzwirkung von bis zu einem Jahr garantieren. Der Fluoridlack ProtectoF ist ein neues Produkt, welches bisher nur wenig untersucht wurde [219]. Der dritte Fluoridlack Tiefenfluorid ist im Gegensatz zu den anderen beiden Lacken ein Zwei-Komponenten-System. Es soll eine spezielle Tiefenwirkung im Schmelz erreichen. *Buchalla et al.* konnten dies in ihrer Untersuchung jedoch nicht feststellen [37].

In dieser Studie ist zu bemerken, dass bei allen Zahnproben zwischen der Proben- und Kontrollseite ein nicht untersuchter Testbereich als Positivprobe mit handelsüblichem farblosen Nagellack (Resist & Shine Pro Kératine Nagellack, farblos, L'Oréal, Paris, Frankreich) abgedeckt wurde. Die Verwendung von Nagellack bei Demineralisationsversuchen *in vitro* ist eine in der Literatur anerkannte und häufig angewandte Methode [81, 170]. Die bedeckte Zahnhartsubstanz wird dabei nicht alterniert, da der Lack eine zuverlässige säurefeste Barriere bildet [67]. In dieser Studie wurde ein farbloser Nagellack verwendet, der sich sehr resistent gegenüber thermomechanischer und chemischer Behandlung zeigte (Abb. 2). Es ist zu überlegen, ob dieser Lack eine Alternative bei *In-vitro*-Studien gegenüber den anderen Produkten darstellt. Bedenklich ist der Einsatz an Patienten. Inwieweit die Inhaltsstoffe biokompatibel und unbedenklich für den Patienten und dementsprechend bei Versuchen *in vivo* anwendbar sind, sollte jedoch vorher untersucht werden.

Es gibt nur wenige Studien, in denen die Effektivität verschiedener Versiegler und Lacke auf den Glattflächen der Zähne untersucht wurde [116, 165, 206, 219, 235, 242]. Bei den meisten Untersuchungen zu dieser Thematik handelt es sich um *In-*

vitro-Studien [61, 206, 235]. In-vitro-Daten ersetzen keine klinischen Studien. Klinische Studien sind zur endgültigen Absicherung dieser neuen Materialien unabdingbar. Sie erfolgen unter Belastungen, die unter Laborbedingungen schwer zu simulieren sind. Vor der klinischen Anwendung neuer Materialien muss jedoch anhand von In-vitro-Daten beurteilt werden, ob es sinnvoll ist, klinische Studien durchzuführen.

6.2.2 Zahnproben

Standardisierte Testverfahren wurden in dieser Studie angewendet, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten. Für die Versuchsreihen wurden extrahierte humane Molaren der zweiten Dentition verwendet. Die Verwendung menschlicher Zähne verfolgte das Ziel, die Mundsituation der Patienten mit Brackets in vitro möglichst gut nachzuahmen. Dennoch bestanden durch das unbekannte Alter der Zähne, gegebenenfalls eine vorausgegangene Fluoridierung und die Morphologie der Zähne, Unterschiede zwischen den Zahnproben im Bezug auf die Struktur der Zahnoberflächen [49, 93, 222].

In ähnlichen Produktstudien wurden statt humanen Zahnproben bovine Zähne verwendet. Rinderzahnschmelz ist in seinem chemischen Aufbau dem menschlichen Schmelz zwar ähnlich [55], jedoch geringfügig weicher und weist eine höhere Porosität auf als menschlicher Zahnschmelz [6, 7, 217]. In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben über die Durchführung der Studien mit humanen und bovinen Zähnen. Einige Studien verzeichneten keinen Unterschied zwischen menschlichen Zähnen und Rinderzähnen bei der Durchführung von In-vitro-Studien [139, 153], andere stellten Unterschiede zwischen den beiden Zahntypen fest [157, 190]. Die meisten mit dieser Untersuchung vergleichbaren In-vitro-Studien wurden mit menschlichen Zähnen der zweiten Dentition durchgeführt [139, 219].

Die Anzahl der untersuchten Zähne für eine Gruppe betrug in In-vitro-Studien mit ähnlichem Versuchsaufbau zwischen 5 [175] und 40 [226]. In den meisten Studien wurden zwischen 10 und 20 Zähne pro Gruppe untersucht [1, 44, 116, 136, 178,

220]. In der vorliegenden Studie wurde die Zahl der Zahnproben pro Gruppe auf 20 festgesetzt.

Zur Desinfektion wurden die Proben in frischer 0,1%iger Thymollösung aufbewahrt. Thymol, ein antiseptisches Phenolderivat, fungiert als Oxidantium und interagiert mit freien Radikalen [87]. In dieser Lösung wurden die gesammelten Zahnproben direkt nach der Extraktion gelagert. Die Lösung verhindert eine Dehydratation der Zähne sowie das Wachstum von Bakterien und Pilzen, ohne die Zahnstrukturen anzugreifen [62]. Zu den häufig verwendeten Medien zur Lagerung von Zähnen gehören destilliertes Wasser und physiologische Kochsalzlösung [5]. Diese beiden Lösungen haben kein antimikrobielles Wirkspektrum. In verschiedenen Publikationen finden sich Hinweise, dass diese Lösungen als Lagerungsmedium auch einen Einfluss auf die Härte der Zahnhartsubstanz haben könnten [152, 195]. Bei Lagerung in anderen Lösungen, wie Formalin oder Ethanol, wurden ebenfalls veränderte Eigenschaften der Zahnhartsubstanz festgestellt [99]. Aus der Literatur ist bekannt, dass der pH-Wert des Lagerungsmediums Formalin mit der Zeit abnimmt. *Silverstone* führte es auf die Oxidation des Formaldehyds zu Methansäure zurück und konnte deshalb keine Empfehlung für dieses Lagerungsmedium für Schmelz abgeben [215].

6.2.3 Stresssimulation: Wasserlagerung und thermozyklische Belastung

Mittels Thermocycling kann unter experimentellen, der Mundhöhle vergleichbaren Bedingungen, die Haftfestigkeit der Produkte zur Bracketumfeldbehandlung geprüft werden [39].

Wasserlagerung und thermozyklische Belastung sind Verfahren, die häufig in Kombination und oft als Bestandteil von In-vitro-Versuchen vorkommen, um die im Mund auftretenden Temperaturwechselbelastungen zu simulieren und eine künstliche Alterung zu erreichen. Intraorale Temperaturwechsel entstehen durch Essen, Trinken [138, 172] und Atmen [30].

Die in dieser Arbeit verwendeten Materialien sollten thermischem Stress widerstehen, um einen längeren Schutz gewährleisten zu können. Vor allem die

Versiegler bestehen zum größten Teil aus Polymeren, die bei längerer Wasserlagerung und Temperaturwechseln expandieren könnten. Mögliche Materialspannungen und Abplatzungen des Versieglers wären die Folge [151]. Das hier ausgewählte und verwendete Thermocyclingregime sollte durch eine mögliche Überbelastung oder eine zu geringe Beanspruchung nicht zu falsch positiven beziehungsweise falsch negativen Ergebnissen führen [172].

Trotz zahlreicher Studien, die einen optimalen Temperaturbereich zu ermitteln versuchten, gibt es bislang kein standardisiertes Temperaturmaß. In einer Übersichtsarbeit aus dem Jahr 1999 wurden 130 Studien mit ihren Parametern gegenüber gestellt [88]. Die Temperaturbereiche lagen zwischen 0 °C und 100 °C. Durchschnittlich betragen die Temperaturen 5 °C und 55 °C. Dies steht im Einklang mit der Studie von *Palmer et al.* [172], die zeigte, dass die maximalen und minimalen extremen Temperaturen in der Mundhöhle bei 0 °C und 65 °C liegen. Eine Studie mit einer Maximaltemperatur von 100 °C bildete eine Ausnahme [40].

Brown et al. nahmen an, dass in der Regel 10 Zyklen pro Tag auftreten [35]. *Kim* und Mitarbeiter berichteten von drei kurzen Phasen mit 10 Zyklen, die die drei Mahlzeiten pro Tag simulieren sollten [128]. Diese Angabe entsprach in etwa der Empfehlung von *Gale* und *Darvell* mit 10.000 Zyklen, die eine Belastung über den Zeitraum von einem Jahr simulieren sollten [88]. In der Literatur schwankt die Zahl der Zyklen zwischen 1 und 1.000.000. Die Verweildauer pro Wasserbad und Zyklus wird zumeist nicht exakt angegeben oder fehlt gelegentlich. Die am häufigsten verwendete Zeit pro Zyklus beträgt ca. 30 Sekunden.

Die für den hier verwendeten Versuchsaufbau gewählten Temperaturen und Wässerungszeiten entsprechen den Werten aus dem Überblick von *Gale* und *Darvell* [88]. Die Anzahl der Zyklen entspricht mit 1.000 einer simulierten Belastung der Proben von drei Monaten.

6.2.4 In-vitro-Putzapparatur

Das Zähneputzen ist eine große Belastung für die Widerstandsfähigkeit beziehungsweise Haftfestigkeit der untersuchten Fluoridprodukte. Besonders bei Patienten mit festsitzenden Apparaturen ist ein deutlich größerer und zeitlich

längerer Mundhygieneaufwand nötig [256]. Somit ist die mechanische Belastung für die verwendeten Materialien verhältnismäßig größer als bei anderen Patienten.

Für die vorliegende Studie wurde eine In-vitro-Putzapparatur verwendet, um individuelle Faktoren durch manuelles Putzen zu vermeiden. Unterschiede in der Putztechnik oder im ausgeübten Anpressdruck, die die Abrasion von Schmelz und der verwendeten Produkte beeinflussen können, mussten beziehungsweise konnten bei der Auswertung der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden. Durch die Putzmaschine konnten die Effekte wochenlangen Putzens in vivo in einem überschaubaren Zeitraum ermittelt werden [131, 176, 186, 221].

Die automatische Putzmaschine ermöglichte ein einheitliches Bürsten der Zahnproben und somit eine kontrollierte Belastung beziehungsweise Abrasion des aufgetragenen Materials. Der Arm mit dem Bürstenkopf führte eine reziproke Vor- und Rückbewegung durch. Der Einsatz einer solchen Zahnputzapparatur wurde in verschiedenen Studien beschrieben, in denen die Abrasion von Zahnhartsubstanzen überprüft wurde [115, 218]. In Vergleichsstudien wurde darauf hingewiesen, dass zur Evaluation der Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrasion der Zahnhartsubstanz, einzelne Borstenbüschel verwendet werden sollten [10, 52]. Es ist davon auszugehen, dass sowohl die Härte als auch die Konfiguration der Borsten einer Zahnbürste die Abrasion bestimmen [72]. Die in dieser Studie verwendeten Oral B Soft Cross Action Bürstenköpfe besitzen insgesamt 25 Borstenbüschel, die allesamt geneigt bzw. schräg zur Bürstenoberfläche angeordnet sind.

Die Bürstenköpfe wurden mit einem Gewicht von ungefähr 102 g auf die Prüfkörper gedrückt. Dieser Wert entspricht in etwa dem in Literaturangaben üblichen Anpressdruck von 1 N pro Zahnfläche [83, 200, 244]. Ein noch schnellerer Abtrag der Materialien in einem kürzeren Zeitintervall wäre bei Patienten zu erwarten, die Putzkräfte von über 1 N aufbringen.

In der vorliegenden Studie betrug die Anzahl der Putzzyklen 1.000, was 2.000 Bürstenbewegungen entspricht. *Dyer* gab an, dass bei einer durchschnittlichen Bürstzeit von 1 Minute und der Annahme, dass sich die Bewegungen vorwiegend auf die Bukkalflächen konzentrieren, die Putzzeit pro Zahn ca. 5 Sekunden beträgt [72]. In einem In-situ-Versuch zeigten *Jaeggi* und *Lussi*, dass für die Bukkalflächen der Zähne eine Bürstzeit von 30 Sekunden pro Quadrant zur Simulation einer

guten Mundhygiene erforderlich ist [121]. Geht man jedoch von der Annahme aus, dass Patienten mit einer festsitzenden kieferorthopädischen Apparatur häufiger und intensiver Mundhygiene betreiben, kann eine Putzzeit von insgesamt 3 Minuten angenommen werden. Von den fünf Zahnflächen (mesial, distal, vestibulär, oral, okklusal bzw. inzisal) sind lediglich drei Bereiche der Zahnbürste gut zugänglich (vestibulär, oral, okklusal bzw. inzisal), so dass sich bei 28 Zähnen und einer Bürstzeit von 3 Minuten eine effektive Putzdauer von 2,14 Sekunden pro erreichbare Zahnfläche ergeben würde. Ausgehend von der Annahme, dass sich die Bewegungen vorwiegend auf die Bukkalflächen konzentrieren, könnten knapp 4 Sekunden Bürstzeit pro bukkaler Zahnfläche angenommen werden, wenn der Patient zweimal am Tag putzt.

Ein Zyklus der in der vorliegenden Studie verwendeten Putzmaschine betrug ca. 2,5 Sekunden. Bezogen auf den Untersuchungszeitraum von drei Monaten und der täglichen Putzzeit von 4 Sekunden pro Zahnfläche ergab sich schließlich eine Anzahl von 1.000 Putzzyklen.

Der Patient putzt nicht immer die gleiche Stelle mit dem gleichen Bürstenstrich und mit dem gleichen Anpressdruck. Die Putzgewohnheiten (Putzfrequenz, Putzmethode) sind individuell unterschiedlich. In der vorliegenden Studie wurde die sehr umstrittene Schrub-Technik angewendet [25, 100, 189, 197], eine Technik, die in der Bevölkerung aber weit verbreitet ist [129, 183, 231].

6.2.5 Demineralisationslösung

Zur Demineralisation von Schmelzproben gibt es verschiedene Verfahren. *Ingram* und *Silverstone* [119] nutzten dafür ein Milchsäure-Gelatine-System. *Gray* [96] verwendete Hydroxyethylcellulose mit Milchsäure. *Francis et al.* [84] sowie *Featherstone* und Mitarbeiter [79] demineralisierten Schmelzproben mit einem Gemisch aus Diphosphonat und Milchsäure.

In der vorliegenden Studie wurde ein von *ten Cate* [228] modifiziertes Verfahren gewählt, welches sich an die Methode von *Ingram* und *Silverstone* anlehnt und künstliche Initialläsionen erzeugt.

Die Erzeugung der künstlichen Kariesläsionen erfolgte in dieser Untersuchung mittels angesäuerter Methylcellulose. Diese so genannte „acidified gel technique“ eignet sich kariesähnliche Läsionen zu erzeugen [54, 73, 240]. Bei dieser Methode wird eine Durchschnittstiefe von 150 µm der resultierenden White-Spot-Läsionen erreicht, die im Vergleich zu in vivo entstandenen Läsionen nur oberflächlich sind [229]. Der Nachteil dieser so entstandenen Läsionen ist, dass sie nicht die typischen Zonen einer natürlichen Schmelzkaries aufweisen, wie zum Beispiel eine pseudointakte Oberflächenschicht, einen Läsionskörper und eine dunkle und transluzente Zone. In dieser Studie war jedoch nicht der histologische Aufbau entscheidend, sondern die Erzeugung untereinander vergleichbarer White-Spot-Läsionen.

6.2.6 Auflichtmikroskopie

Zur Visualisierung der kariesähnlichen Strukturen wurde die Auflichtmikroskopie eingesetzt. Bei dem hier verwendeten Untersuchungsverfahren handelt es sich um ein nur wenig destruktives Messverfahren. Hierbei müssen die demineralisierten Versuchsproben nur einmal geschnitten werden. Aufwändige Schneidvorgänge für Dünnschliffpräparate wie zum Beispiel bei der Durchlichtmikroskopie, die oft in der Medizin und Biologie verwendet werden, oder das Trocknen der Proben, wie zum Beispiel bei den Verfahren mit transmissionselektronischen oder raster-elektronischen Mikroskopen, können vermieden werden. Somit ist die Gefahr von Schrumpfungen und Rissbildungen sowie das Abplatzen der demineralisierten Zahnhartsubstanzen gering [112]. Das Risiko an Artefakten und technischen Fehlern bleibt auf diese Weise sehr gering [170].

6.3 Diskussion der Ergebnisse

Materialien zur Bracketumfeldbehandlung sollen die Entstehung von White-Spot-Läsionen vermeiden. Es ist die Frage zu erörtern, ob durch die untersuchten Bracketumfeldversiegler und Fluoridlacke eine ausreichend kariesprotektive Wirkung zu verzeichnen ist. Die minimale Fluoridkonzentration, die

Demineralisationen vermeidet, ist nicht bekannt [109, 193]. Jedoch haben mehrere Untersuchungen gezeigt, dass eine konstante niedrig dosierte Gabe von Fluoriden eine größere kariostatische Wirksamkeit besitzt als einzelne hoch dosierte Applikationen [34, 51]. Allerdings ist die Fluoridfreisetzung sehr ungleichmäßig. Schon nach 24 Stunden nimmt die Fluoridfreisetzung deutlich ab [116]. Auch der pH-Wert hat einen Einfluss auf die Fluoridfreisetzung. Im sauren Milieu ist die initiale Fluoridfreisetzung größer als im neutralen [12]. Wird ein kritischer pH-Wert von 5,5 konstant überschritten, wird Fluorid nicht nur aus den vorhandenen Produkten, sondern auch aus den Fluoridhydroxylapatit-Verbindungen vom Schmelz gelöst. Ein kariesprotektiver Effekt bleibt dann aus [78].

Die Applikation von Versiegeln und Fluoridlacken auf das Bracketumfeld stellt eine Möglichkeit zum Schutz vor White-Spot-Läsionen dar. Die Anwendung von Versiegeln in der Kieferorthopädie ist keine neue Idee [234, 249]. Die Zielsetzungen sind hohe Haftfestigkeit, Versiegelung des Schmelzes in angeätzten Bereichen und der Schutz vor Demineralisationen. Da die Versiegler früher ungefüllt oder nur wenig gefüllt waren, wurde angenommen, dass sie dem mechanischen Verschleiß durch Zähneputzen oder Säureattacken nicht standhalten konnten und ein protektiver Effekt nicht erreicht wurde. Ein Großteil der heutigen Versiegler sind gefüllt [116]. Dazu gehören auch die in dieser Studie verwendeten Produkte ProSeal, LightCure und Seal&Protect. Die anderen drei Produkte Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector sind Fluoridlacke.

Die mit ProSeal behandelten Zahnflächen zeigten nach der thermomechanischen und chemischen Behandlung bis auf eine Zahnprobe keine White-Spot-Läsionen auf der Zahnfläche der Probenseite und unterschieden sich hoch signifikant zu den Kontrollseiten und den anderen untersuchten Produkten. ProSeal war nach den Versuchen zu 45 % noch auf den Zahnoberflächen vorhanden. Dieser Versiegler zeigt einen somit ausreichenden kariesprotektiven Schutz über einen gewissen Zeitraum. Die kariesprotektive Wirkung von ProSeal konnte bereits in früheren Studien nachgewiesen werden [41, 44, 116, 220]. *Hu* und *Featherstone* zeigten die protektive Wirkung von ProSeal gegenüber Demineralisationen der Bukkalflächen von Weisheitszähnen. Sie verglichen die ermittelten Werte mit anderen Gruppen: Eine Gruppe mit unbehandelter Schmelzoberfläche, eine mit Säure angeätzte Oberfläche, eine mit einem Fluoridlack behandelte und eine mit einem

lichthärtenden ungefüllten Versiegler behandelte Oberfläche. Sie zeigten, dass die Läsionen an der mit dem lichthärtenden gefüllten Versiegler ProSeal behandelten Oberfläche deutlich geringer waren als in den anderen Gruppen. Sie fanden außerdem, dass ProSeal eine große Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrasionen durch Zahnebürsten besitzt [116]. *Buren et al.* untersuchten ebenfalls die Wirksamkeit von ProSeal und erkannten, dass der Versiegler im Vergleich zu einer Kontrollgruppe eine um 97 % reduzierte Läsionstiefe aufwies [41]. Als wesentlicher Faktor für die gute Wirksamkeit bezüglich der Vermeidung von Schmelzdemineralisationen durch ProSeal erscheint die Eigenschaft, Fluoridionen über einen gewissen Zeitraum abzugeben und auch wieder von außen aufnehmen zu können. Diese Eigenschaft des Versieglers untersuchten *Soliman et al.* in einer In-vitro-Studie. Sie stellten fest, dass ProSeal Fluoride bis zu 17 Wochen abgeben kann. Außerdem nimmt der Versiegler durch fluoridhaltige Mundspüllösungen Fluoride auch wieder auf [220]. Daher empfehlen *Soliman et al.* nach diesem Zeitraum mit den zusätzlichen lokalen Fluoridierungen zu beginnen [220]. Dies wiederum erfordert eine gute Mitarbeit des Patienten, die bei Jugendlichen in der Pubertät oft nicht gegeben ist [90, 179]. ProSeal ist eine gute Methode zur Reduktion von kariösen Läsionen sowohl als prophylaktische Maßnahme als auch bei Behandlungen mit festsitzenden Apparaturen. Dieser positive kariesprotektive Effekt ist nur auf einen gewissen Zeitraum begrenzt. Daher ist ProSeal nur als unterstützende Maßnahme zu sehen und sollte regelmäßig erneuert werden [76].

Die Ergebnisse sowohl für die mittlere Läsionstiefe als auch für die Demineralisationsfläche der beiden ebenfalls gefüllten Versiegler LightCure und Seal&Protect unterschieden sich nicht signifikant zu ihren Kontrollseiten und zu den Ergebnissen von den Fluoridlacken. Daraus lässt sich schließen, dass die Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen nicht nur davon abhängig ist, ob ein Versiegler gefüllt ist oder nicht. Die Vorbehandlung der Zähne mit dem lichthärtenden Versiegler LightCure erfolgte genau wie bei den Zahnproben, die mit ProSeal versiegelt wurden, mit 37 %iger Phosphorsäure. Die ermittelten Läsionstiefen der Zähne, die mit LightCure versiegelt wurden, waren signifikant höher als die der Zähne, die mit ProSeal behandelt wurden. Sie unterschieden sich aber kaum zu den Läsionstiefen der Zahnproben mit dem Produkt Seal&Protect. In der Literatur sind bis zum momentanen Zeitpunkt noch keine Studien zu dem lichthärtenden Versiegler LightCure zu finden. Die mit dem Produkt Seal&Protect

versiegelten Zähne erreichten in dieser Studie signifikant größere Läsionstiefen als die mit ProSeal behandelten Zähne. Die im Mittel etwas höheren Läsionstiefen bei Seal&Protect (119,99 μm) gegenüber dem Produkt LightCure (108,10 μm) waren jedoch nicht signifikant. Positive Ergebnisse früherer Studien konnten nicht erreicht werden. Es ist jedoch anzumerken, dass diese Studien unter In-vivo-Bedingungen durchgeführt wurden und zur Zielsetzung hatten, eine Reduzierung von kariesfördernden Mikroorganismen in der unmittelbaren Umgebung nachzuweisen [19, 243]. Daher ist zu vermuten, dass Seal&Protect unter In-vitro-Bedingungen nicht die gleichen Eigenschaften besitzt wie unter klinischen. Seal&Protect ist der einzige der drei untersuchten Versiegler, bei dem vor dem Auftragen der Zahnschmelz nicht mit 37 %iger Phosphorsäure konditioniert wird. Die Retentionsfläche für das Produkt ist geringer. Dies könnte ein weiterer Grund für die schlechteren Ergebnisse im Vergleich zu ProSeal sein. Die beiden Versiegler LightCure und Seal&Protect sind neu eingeführte Produkte im Rahmen der Bracketumfeldversiegelung. In der Studie sollte überprüft werden, ob sie eine bessere Alternative mit höherer Abrasionsfestigkeit über einen längeren Zeitraum gegenüber dem etablierten Versiegler ProSeal darstellen. Die ermittelten Werte zeigten jedoch keinen positiven kariesprotektiven Effekt und sind für die prophylaktische Behandlung von White-Spot-Läsionen bei festsitzender Therapie eher kritisch zu bewerten.

Bei den drei untersuchten Fluoridlacken Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector wurden signifikant größere Läsionstiefen als mit ProSeal ermittelt. Die Werte unterschieden sich jedoch nicht signifikant von denen der unbehandelten Kontrollseiten und den beiden Versiegler LightCure und Seal&Protect. *Wenderoth et al.* zeigten in einer Studie, dass Fluoridlacke durch mechanische und chemische Belastung leicht abgenutzt werden und keinen ausreichenden Schutz vor White-Spot-Läsionen bieten [242]. Ihre Ergebnisse bestätigten vorherige Untersuchungen durch *Banks* und *Richmond* [17] und andere In-vitro-Studien [85, 122]. Die Fluoridlacke Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector erfordern – anders als ProSeal und LightCure - keine Schmelzkonditionierung und keine Lichtpolymerisation. Dies könnte ein Grund für die hohen Werte der Parameter Läsionstiefe und Läsionsfläche bei der Anwendung der drei Fluoridlacke sein. Bei FluorProtector betrug die Läsionstiefe 184,5 μm und die demineralisierte Fläche $230 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, bei ProtectoF 149 μm und

185x10³µm² sowie bei Tiefenfluorid 155 µm und 193x10³ µm². Bei allen drei Fluoridlacken Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector wird das Material nur auf die gereinigte und getrocknete Zahnoberfläche mittels eines Applikationspellets aufgetragen, einmassiert und danach luftgetrocknet. Dies kann ein Abplatzen des Lacks begünstigen, da keine Mikroretention durch vorherige Konditionierung der Zahnoberfläche gegeben ist. Es wird zwar eine Schädigung des Schmelzes durch Konditionierung vermieden, jedoch scheint die Fluoridaufnahme der Zahnhartsubstanz hier keinen ausreichenden Schutz vor Demineralisationen zu bieten. Die ermittelten Werte zeigen, dass nach einmaliger Applikation der Fluoridlacke keine ausreichende Schutzwirkung für einen längeren Zeitraum gegeben ist. Diese Beobachtungen wurden bereits in mehreren Studien zur Applikation von FluorProtector bestätigt [57, 70, 199, 219].

Bei dem Produkt Tiefenfluorid wird zusätzlich mit einer Nachtouchierlösung gearbeitet, die zu einer höheren Fluoridanreicherung in der Tiefe der Zahnhartsubstanz führen soll. *Buchalla et al.* konnten in einer Studie zeigen, dass die so genannte Tiefenfluoridierung zwar zu einer ausgeprägten Fluoridanreicherung in der Kalziumfluoriddeckschicht führt, diese sich aber nicht von einer lokal applizierten Fluoridierung mit gleich hohem Fluoridgehalt unterscheidet. Auch eine höhere Fluoridanreicherung in der Tiefe einer Initialläsion konnte nicht nachgewiesen werden. Die empfohlene Fluoridfällung mittels Nachtouchierung scheint nach *Buchalla et al.* ebenfalls keinen zusätzlichen positiven Nutzen zu haben [37].

Für ProtectoF ließen sich im Vergleich in der Literatur nur wenige Studien finden. *Schulze et al.* verglichen in einer In-vitro-Untersuchung sieben verschiedene Produkte auf ihre Wirksamkeit gegenüber White-Spot-Läsionen einschließlich ProSeal und ProtectoF. Während der Untersuchung wurden die Proben jedoch keiner mechanischen, sondern nur einer chemischen Belastung mittels einer künstlichen Mundhöhle unterzogen. ProtectoF zeigte hier im Vergleich zu ProSeal einen deutlich geringeren positiven Effekt [208]. *Sobiegalia* untersuchte in einer In-vivo-Studie die protektiven Eigenschaften von ProtectoF über einen Zeitraum von sechs Monaten. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe [219].

Die mit FluorProtector behandelten Zahnflächen wiesen in der vorliegenden Studie höhere Läsionstiefen auf als die mit den Versiegelungslacken ProtectoF und Tiefenfluorid behandelten Zahnflächen. Die Ergebnisse unterscheiden sich nicht signifikant, sie bestätigen die Resultate früherer Studien [58, 60, 160, 192, 199, 223, 237, 238, 255].

Die drei Fluoridlacke sollen bei den patientenunabhängigen Prophylaxemaßnahmen einen Schutz vor möglichen Demineralisationen während der festsitzenden kieferorthopädischen Therapie bieten. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass ein kariesprotektiver Schutz bei einmaliger Applikation über einen Zeitraum von drei Monaten nicht ausreichend ist. In der Studie über FluorProtector von *Pinar et al.* wurde eine hohe Fluoridfreisetzungsrate und ein guter kariesprotektiver Effekt über einen Zeitraum von 24 Stunden bis zu 5 Tagen untersucht und festgestellt, dass nach 24 Stunden die Fluoridfreisetzung signifikant abnahm [188]. Die Applikation der Fluoridlacke bei der Multibracket-Behandlung sollte daher in deutlich kürzeren und häufigeren Abständen erfolgen, um einen Schutz vor White-Spot-Läsionen zu erreichen.

Die in der Studie untersuchten Materialien zur Bracketumfeldbehandlung sollen einen Vorteil in der patientenunabhängigen Fluoridbehandlung bieten und das Entstehen von White-Spot-Läsionen vermeiden. Die Anwendung von Versiegeln und Fluoridlacken in kieferorthopädischen Praxen nimmt zu [219]. Die Gründe dafür sind naheliegend. Die angebotenen Produkte sind einfach in der Handhabung, unempfindlich und leicht zu applizieren. Produkte wie Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector setzen nicht einmal eine Konditionierung des Schmelzes und eine Lichtpolymerisation des Materials voraus.

Es ist jedoch zu diskutieren, ob die verwendeten Materialien nicht auch Nachteile mit sich bringen. Die Versiegler können sich im Laufe der Zeit durch Farbstoffe aus der Nahrung oder Getränken verfärben, wie beispielsweise Kaffee oder Tee [80]. Dies führt zu einem unerwünschten und unästhetischen klinischen Erscheinungsbild. Auch nach vermeintlich kompletter Entfernung des Versieglers und gründlicher Politur der Zähne kann der Versiegler bis zu 170 µm tief im Schmelz nachgewiesen werden. Es ist zu klären, ob diese Rückstände eine eventuell später stattfindende Zahnaufhellung, im Rahmen eines Bleachings, beeinflussen können [41]. Einen weiteren kritischen Aspekt von Versiegeln stellt

die vor der Applikation der meisten Versiegler notwendige Schmelzätzung dar. *Legler et al.* stellten bei Schmelzkonditionierung mit 37%iger Phosphorsäure für 15 bis 30 Sekunden einen Schmelzverlust zwischen 3,5 µm und 27,1 µm fest [135]. Eine andere Studie berichtete von Werten zwischen 10 und 170 µm [66]. *Hosein et al.* hingegen ermittelten einen geringeren Schmelzverlust von nur 1,1 bis 4,6 µm bei Anwendung von 37%iger Phosphorsäure [114]. Jedoch wurde in der Untersuchung nicht angegeben wie lange der Schmelz konditioniert wurde. Dieser Zeitfaktor könnte die unterschiedlichen Werte erklären.

Ein weiteres, bisher nicht geklärtes Problem ist die Frage, in welcher Ausdehnung das Produkt auf den Zahn aufgetragen werden soll. Es wäre zu klären, ob die ganze Vestibuläroberfläche des Zahns behandelt werden soll oder nur ein bestimmter Bereich um die Bracketbasis herum. Die meisten Studien [1, 41, 58, 116, 177, 213, 220, 226, 237] haben nur den bracketnahen Bereich, das heißt den Bereich unter dem Material zur Bracketumfeldbehandlung, untersucht. Jedoch treten White-Spot-Läsionen im Zusammenhang mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen vor allem im gingivalen Bereich auf [93], wo auch die höchste Plaqueansammlung zu erkennen ist [46]. An den labiogingivalen Bereichen der seitlichen Inzisivi des Oberkiefers und Prämolaren des Unterkiefers sind am häufigsten White-Spot-Läsionen zu finden, da diese Zahnflächen zwischen Bracketbereich und Gingiva sehr schmal sind, wird eine Anlagerung von Plaque und Debris besonders begünstigt [93]. Bedingt durch die kurzen klinischen Kronen der seitlichen Inzisivi im Oberkiefer und der Prämolaren im Unterkiefer kann es beim Applizieren des Materials für die Bracketumfeldbehandlung zu einem Kontakt mit der Gingiva kommen. Zahnfleischirritationen können die Folge sein. Ein weiteres Problem wäre dann auch die fehlende Trockenlegung im Sulcusbereich beim Applizieren der verschiedenen Versiegler, die zum Teil eine absolute Trocknung der Oberfläche voraussetzen. Eine Folge könnte die Entstehung von Randspalten sein und somit eine Verlegung der White-Spot-Läsionen in den approximalen und gingivalen Bereich.

Zu beachten ist ferner die relativ kostenintensive Anwendung der Produkte. Es könnte auch der Irrtum entstehen, dass diese Materialien die Alleinlösung für Mundhygieneprobleme während einer kieferorthopädischen Behandlung sind. Diese Produkte sollten in jedem Falle nur als unterstützende Maßnahme

angesehen werden. Denn nur durch gute Mundhygiene kann das Kariesrisiko während einer Behandlung so gering wie möglich gehalten werden.

Anhand der ermittelten Ergebnisse und der Vergleichsliteratur ist zu diskutieren, bei welchen Patienten zu welchem Zeitpunkt eine Bracketumfeldbehandlung stattfinden sollte. Nicht alle Patienten weisen eine gleich gute Mundhygiene auf und zeigen individuell unterschiedliche Compliance hinsichtlich häuslicher und professioneller Prophylaxemaßnahmen. Es ist somit zu überlegen, ob bei Patienten mit guter Mundhygiene und Mitarbeit Maßnahmen zur Bracketumfeldbehandlung hinsichtlich der Vermeidung von Demineralisationen im Schmelz überhaupt nötig sind. *Zimmer* und *Rottwinkel* geben an, dass anhand bestimmter Risikofaktoren für Karies vor Beginn der Therapie mit festsitzenden Apparaturen eine Gruppe von Patienten definiert werden kann, die ein besonders hohes Risiko für die Entwicklung von White-Spot-Läsionen aufweisen. Als Risikofaktoren wurden ein hoher Plaqueindex, ein hoher approximaler Plaqueindex, ein DMFT-/dmft-Index von 3-4 und bereits bestehende Kariesläsionen angegeben [256].

Es ist außerdem zu überdenken, ob gleich zu Beginn beim Einsetzen einer festsitzenden Apparatur das Material zur Bracketumfeldbehandlung aufgetragen werden sollte oder erst zu einem späteren Zeitpunkt. Da die Apparatur zumeist über einen längeren Zeitraum - mehrere Monate bis Jahre - getragen wird, stellt sich zudem die Frage, ob und nach welchem Zeitraum das Material erneuert werden sollte.

Da beginnende, nicht tiefer als 150 µm im Schmelz gelegene Initialläsionen bei guter Mundhygiene und plaquefreien Zahnoberflächen remineralisieren können, stellen die regelmäßige Kontrolle durch den Kieferorthopäden und die Mitarbeit des Patienten wichtige Aspekte in der kieferorthopädischen Behandlung dar [169]. Durch frühzeitiges Erkennen kann das Problem unästhetischer und irreversibler Demineralisationen im Schmelzbereich vermieden oder doch wesentlich reduziert werden [41].

7 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zur Untersuchung verschiedener Präparate zur Bracketumfeldbehandlung stimmen grundlegend mit den Resultaten anderer Studien überein [19, 37, 208, 219, 243]. Nur der Versiegler ProSeal lässt einen Schutz vor White-Spot-Läsionen erwarten. Es konnten keine Läsionen am Ort der Applikation festgestellt werden. Ferner war ProSeal nach thermomechanischer und saurer Belastung noch zu 45 % entlang der ausgewerteten Schnittebene nachweisbar.

Bei den anderen Fluorid freisetzenden Produkten LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector zeigten sich in vitro deutliche Läsionen auf allen Versuchsproben. Die Ergebnisse der Läsionstiefen und Läsionsflächen unterschieden sich qualitativ kaum. Die Läsionen unter LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector unterschieden sich nicht signifikant von den unbehandelten Kontrollseiten.

Die vorliegende In-vitro-Studie zeigt, dass der Versiegler ProSeal hinsichtlich Läsionstiefe und -fläche allen anderen Produkten deutlich überlegen ist. Die guten Resultate dieser Untersuchung bestätigen die Ergebnisse in der Literatur [41, 44, 116]. Als klinische Konsequenz resultiert, dass ProSeal einen ausreichenden Schutz vor White-Spot-Läsionen während einer Multibracket-Behandlung bietet, allerdings lassen Untersuchungen von *Engel et al.* vermuten, dass ProSeal nicht langfristig vollständig auf dem Zahn verbleibt und folglich regelmäßig erneuert werden muss [76].

8 Zusammenfassungen

8.1 Zusammenfassung

Die festsitzende kieferorthopädische Therapie birgt trotz Weiterentwicklung der kieferorthopädischen Materialien und Präventionsmaßnahmen immer noch ein relevantes Risiko für Schmelzdemineralisationen, die so genannten White-Spot-Läsionen. Eine Möglichkeit zum Schutz vor Demineralisationen im Bracketumfeld stellt das Auftragen von Versiegeln um das Bracket herum dar. Das Ziel dieser Studie war es, die Widerstandsfähigkeit von sechs verschiedenen Produkten gegen thermomechanische und chemische Einflüsse *in vitro* zu vergleichen. Die in dieser Studie verwendeten Produkte waren ProSeal, LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector.

In der vorliegenden Untersuchung wurden 120 extrahierte menschliche, nicht kariöse Molaren verwendet. Die Zahnproben wurden in sechs Gruppen zu je 20 Proben aufgeteilt, in Kunststoffblöcke eingebettet und die Zahnflächen poliert. Die Untersuchung erfolgte ausschließlich an den Bukkalflächen der Zähne. Jede Zahnfläche wurde in drei Bereiche geteilt. Ein Bereich wurde mit einem der zu untersuchenden Produkte versiegelt, ein Bereich wurde mit Nagellack behandelt und ein Bereich blieb unbehandelt. Die Proben wurden in 0,1%iger Thymol-Lösung bei Raumtemperatur gelagert. Nach der Applikation der fluoridhaltigen Präparate wurden die Proben für 1000 Zyklen einem Thermocycling (5°C und 55°C, 30 s pro Bad, 5 s Wechselzeit) unterzogen. Danach wurden sie in einer Putzapparatur für 1000 Zyklen mit einem Anpressdruck von 1 N/cm² gebürstet (Oral B Cross Soft Action 35). Als Zahnpaste wurde ein Referenzschleifmittel nach DIN-Norm angemischt. Die Putzbewegungen waren rein linear. Die Zähne wurden anschließend mittels einer Demineralisationslösung nach *ten Cate* bei einem pH-Wert von 4,6 in einem Inkubator mit einer Temperatur von 37°C für sieben Tage demineralisiert. Nach der Behandlung wurden alle Proben mittels Bandsäge durchtrennt und lichtmikroskopisch untersucht, um die mittlere Läsionstiefe und -fläche der Demineralisationen auszuwerten. Die Unterschiede der mittleren Läsionstiefen und Demineralisationsflächen der mit den sechs Produkten behandelten Zahnproben im Vergleich zu den Kontrollseiten wurden unter

Verwendung von ANOVA und Tukey-Test ermittelt sowie die Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten mittels t-Test.

Die mit ProSeal behandelten Zahnflächen zeigten keine Demineralisationen. Die mittleren Läsionstiefen bei den mit LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector behandelten Zahnproben waren 108,10 µm, 119,99 µm, 154,9 µm, 149,2 µm und 184,5 µm. Es bestand ein signifikanter Unterschied in der mittleren Läsionstiefe zwischen dem Versiegler ProSeal und allen anderen untersuchten Präparaten ($p < 0,01$). Die Unterschiede zwischen LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector waren nicht signifikant ($p > 0,05$).

Zusammenfassend zeigte nur der Fluorid freisetzende Versiegler ProSeal eine relevante Widerstandsfähigkeit und Abriebfestigkeit gegenüber thermischen, mechanischen und chemischen Einflüssen. LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF und FluorProtector zeigten unter dem verwendeten Studiendesign keinen ausreichenden Schutz vor White-Spot-Läsionen für die Zahnoberfläche.

8.2 Summary

Sealers and varnishes are used for the prophylaxis of demineralization in patients with multi-bracket treatment. Several agents have been recently introduced for this purpose. However, it remains unclear which one is more efficient and could be suggested as standard of care in this patient cohort. The aim of this study was to compare the long-term resistance of six different products against thermomechanical and chemical stress *in vitro*. The agents included in the study were the three fluoride-releasing sealers ProSeal, LightCure, Seal&Protect and the three fluoride varnishes Tiefenfluorid, ProtectoF, FluorProtector.

In this study, 120 extracted non carious molar teeth were used. These were divided in six groups of twenty samples each. Each tooth was divided in three sections including one section treated with the agent, one treated with a nail varnish and one untreated section. The samples were stored in 0,1% thymol solution at room temperature. After application of the different agents, the samples were thermocycled for 1000 cycles (5°C and 55°C, 30s per bath, 5s brief alternating time) and then brushed for 1000 cycles with a pressure of 1 N/cm². The teeth were

demineralized in an incubator at a pH of 4,6 and a temperature of 37°C using a demineralization solution of *ten Cate* for seven days. After treatment, all samples were examined microscopically to evaluate the degree of demineralization expressed as mean lesion depth. Differences in the mean lesion depth between teeth treated with the three sealers and the three varnishes were analyzed using ANOVA and Tukey's test.

Samples treated with ProSeal did not have any demineralization lesions. The mean lesion depth in teeth treated with LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF and FluorProtector were 108,10 µm, 119,99 µm, 154,9 µm, 149,2 µm and 184,5 µm, respectively. There was a significant difference in the mean lesion depth between the sealer ProSeal and the other agents ($p < 0,01$). The differences between LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF and FluorProtector were not significant ($p > 0,05$).

In conclusion, only the sealer ProSeal provides increased demineralization inhibition compared to the other agents. LightCure, Seal&Protect, Tiefenfluorid, ProtectoF and FluorProtector did not offer sufficient protection for the teeth surface.

9 Literaturverzeichnis

1. Adriaens M, Dermaut L, Verbeeck R. The use of 'FluorProtector', a fluoride varnish, as a caries prevention method under orthodontic molar bands. *Eur J Orthod* 1990;12:316-9.
2. Ahn S, Lim B, Lee S. Prevalence of cariogenic streptococci on incisor brackets detected by polymerase chain reaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:736-41.
3. Al-Khateeb S, Forsberg C, de Josselin de Jong E, Angmar-Mansson B. A longitudinal laser fluorescence study of white spot lesions in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;113:595-602.
4. Anderson G, Bowden J, Morrison E, Caffesse R. Clinical effects of chlorhexidine mouthwashes on patients undergoing orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:606-12.
5. Aquilino S, Williams V, Svare C. The effect of storage solutions and mounting media on the bond strengths of a dentinal adhesive to dentin. *Dent Mater* 1987;3:131-5.
6. Arends J, Jongebloed W. Crystallites dimensions of enamel. *J Biol Buccale* 1978;6:161-71.
7. Arends J, Lodding A, Petersson L. Fluoride uptake in enamel. *In vitro* comparison of topical agents. *Caries Res* 1980;14:403-13.
8. Arnold M, Trost G. Dependence of the brushing effect on different forms of the toothbrush head. *Dtsch Stomatol* 1972;22:46-53.
9. Artun R, Brobakken B. Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *Eur J Orthod* 1986;8:229-34.
10. Ashmore H, Van Abbé N, Wilson S. The measurement in vitro of dentine abrasion by toothpaste. *Br Dent J* 1972;133:60-6.
11. Atack N, Sandy J, Addy M. Periodontal and microbiological changes associated with the placement of orthodontic appliances. A review. *J Periodontol* 1996;67:78-85.
12. Attin T, Kielbassa A, Plogmann S, Hellwig E. Fluoridfreisetzung aus Kompomeren im sauren und neutralen Milieu. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:675-8.
13. Axelsson P. Preventive dentistry program. Practical preventive dentistry: 15-year experience in Sweden. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1989;99:1045-51.
14. Axelsson P, Lindhe J. Effect of fluoride on gingivitis and dental caries in a preventive program based on plaque control. *Community Dent Oral Epidemiol* 1975;3:156-60.
15. Balenseifen J, Madonia J. Study of dental plaque in orthodontic patients. *J Dent Res* 1970;49:320-4.
16. Banks P, Chadwick S, Asher-McDade C, Wright J. Fluoride-releasing elastomerics - a prospective controlled clinical trial. *Eur J Orthod* 2000;22:401-7.
17. Banks P, Richmond S. Enamel sealants: a clinical evaluation of their value during fixed appliance therapy. *Eur J Orthod* 1994;16:19-25.

18. Basdra E, Hubert 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;109:466-72.
19. Baysan A, Lynch E, Jovanovski V, Brailsford S, Zou L, Beighton D. Three month assessment of an antimicrobial root sealant. *J Dent Res* 1999;78:2712.
20. Bellini H, Arneberg P, von der Fehr F. Oral hygiene and caries. A review. *Acta Odontol Scand* 1981;39:257-65.
21. Beltrán-Aguilar E, Goldstein J, Lockwood S. Fluoride varnishes. A review of their clinical use, cariostatic mechanism, efficacy and safety. *J Am Dent Assoc* 2000;131:589-96.
22. Benson P, Parkin N, Millett D, Dyer F, Vine R, Shah A. Fluorides for the prevention of white spots on teeth during fixed brace treatment. *Cochrane Database Syst Rev* 2004;CD003809.
23. Benson P, Shah A, Millet D, Dyer F, Parkin N, Vine R. Fluorides, orthodontics and demineralization: a systematic review. *J Orthod* 2005;32:102-14.
24. Berglund L, Small C. Effective oral hygiene for orthodontic patients. *J Orthod* 1990;24:315-20.
25. Bergström J, Lavstedt S. An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol* 1979;7:57-64.
26. Berman D, Slack G. Susceptibility of tooth surfaces to carious attack. A longitudinal study. *Br Dent J* 1973;134:135-9.
27. Bishara S, Ajlouni R, Laffoon J, Warren J. Effect of a fluoride-releasing self-etch acidic primer on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2002;72:199-202.
28. Bishara S, Gordan V, VonWald L, Olson M. Effect of an acidic primer on shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:243-7.
29. Bloom R, Brown LJ. A study of the effects of orthodontic appliances on the oral microbial flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1964;17:658-67.
30. Boehm R. Thermal environment of teeth during open-mouth respiration. *J Dent Res* 1972;51:75-8.
31. Bonesvoll P, Gjermo P. A comparison between chlorhexidine and some quaternary ammonium compounds with regard to retention, salivary concentration and plaque-inhibiting effect in the human mouth after mouth rinses. *Arch Oral Biol* 1978;23:289-94.
32. Boyar R, Thylstrup A, Holmen L, Bowden G. 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;68:1734-8.
33. Boyd R, Rose C. Effect of rotary electric toothbrush versus manual toothbrush on decalcification during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;105:450-6.
34. Brown W, Gregory T, Chow L. Effects of fluoride on enamel solubility and cariostasis. *Caries Res* 1977;11:118-41.
35. Brown W, Jacobs H, Thompson R. Thermal fatigue in teeth. *J Dent Res* 1972;51:461-7.
36. Brusca M, Chara O, Sterin-Borda L, Rosa A. Influence of different orthodontic brackets on adherence of microorganisms in vitro. *Angle Orthod* 2007;77:331-6.

37. Buchalla W, Lennon A, Trage K, Becker K, Attin T. Enamel fluoride uptake following fluoride application and fluoride precipitation. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2007;117:118-22.
38. Buonocore M. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials of enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34:849-53.
39. Buonocore M. Retrospections on bonding. *Dent Clin North Am* 1981;25:241-55.
40. Buonocore M, Sheykholeslam Z, Glana R. Evaluation of an enamel adhesive to prevent marginal leakage: an in vitro study. *ASDC J Dent Child* 1973;40:119-24.
41. Buren J, Staley R, 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.
42. Buyukyilmaz T, Øgaard B. Caries-preventive effects of fluoride-releasing materials. *Adv Dent Res* 1995;9:377-83.
43. Cacciafesta V, Sfondrini M, Tagliani P, Klersy C. In-vitro fluoride release rates from 9 orthodontic bonding adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:656-62.
44. Cain K, Hicks J, English J, Flaitz C, Powers J, Rives T. In vitro enamel caries formation and orthodontic bonding agents. *Am J Dent* 2006;19:187-92.
45. Ceen R, Gwinnett A. White spot formation associated with sealants used in orthodontics. *Pediatr Dent* 1981;3:174-8.
46. Ceen R, Gwinnett A. Microscopic evaluation of the thickness of sealants used in orthodontic bonding. *Am J Orthod* 1980;78:623-9.
47. Cohen W, Wiltshire W, Dawes C, Lavelle C. Long-term in vitro fluoride release and re-release from orthodontic bonding materials containing fluoride. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:571-6.
48. Cook P. Direct bonding with glass ionomer cement. *J Clin Orthod* 1990;24:509-11.
49. Cooley R, Dodge W. Bond strength of three dentinal adhesives on recently extracted versus aged teeth. *Quintessence Int* 1989;20:513-6.
50. Corbett J, Brown L, Keene H, Horton I. Comparison of *Streptococcus mutans* concentrations in non-banded and banded orthodontic patients. *J Dent Res* 1981;60:1936-42.
51. Corry A, Millet D, Creanor S, Foye R, Gilmour W. Effect of fluoride exposure on cariostatic potential of orthodontic bonding agents: an in vitro evaluation. *J Orthod* 2003;30:323-9.
52. Craig R, Powers J. Wear of dental tissues and materials. *Int Dent J* 1976;26:121-33.
53. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. New York: Interscience Publications; 1940.
54. Damato F, Strang R, KW S. Comparison of solution- and gel-prepared enamel lesions--and in vitro pH-cycling study. *J Dent Res* 1988;67:1122-5.
55. Davidson C, Boom G, Arends J. Calcium distribution in human and bovine surface enamel. *Caries Res* 1973;7:349-59.
56. Davila J, Sisca R, Tinanoff N, Provenza D. Plastic sealing of proximal surfaces of teeth, a new technic. *J Baltimore Coll Dent Surg* 1975;30:40-7.

57. De Bruyn H, Buskes H. Caries preventive effectiveness of FluorProtector and fluoride lacquer, Duraphat under very cariogenic conditions. *Oralprophylaxe* 1988;10:61-7.
58. De Bruyn H, Buskes J, Arends J. The inhibition of demineralization of human enamel after fluoride varnish application as a function of the fluoride content. An in vitro study under constant composition demineralizing conditions. *J Biol Buccale* 1986;14:133-8.
59. De Moura M, De Melo Simplicio A, Cury J. In-vivo effects of fluoridated antiplaque dentifrice and bonding material on enamel demineralization adjacent to orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:357-63.
60. Della Volpe M. Possibilities and limits of application of fluoride-containing varnish in caries prevention, for example, FluorProtector (2). *Oralprophylaxe* 1990;12:123-9.
61. Demito C, Vivaldi-Rodrigues G, Ramos A, Bowman S. The efficacy of a fluoride varnish in reducing enamel demineralization adjacent to orthodontic brackets: an in vitro study. *Orthod Craniofac Res* 2004;7:205-10.
62. DeWald J. The use of extracted teeth for in vitro bonding studies: a review of infection control considerations. *Dent Mater* 1997;13:74-81.
63. Diamanti-Kipiotti A, Gusberti F, Lang N. Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances. *J Clin Periodontol* 1987;14:326-33.
64. Diedrich P. Klinische Bruchhäufigkeit, Plaquebildung und Schmelzläsionen bei der Bracket-Adhäsivtechnik. *J Orofac Orthop* 1981;42:195-08.
65. Diedrich P. Bracket-Adhäsivtechnik. In: Diedrich P, editor. *Kieferorthopädie II Praxis der Zahnheilkunde*. 4. ed. München, Jena: Urban und Fischer; 2000. p. 170-86.
66. Diedrich P. Enamel alterations from bracket bonding and debonding: a study with the scanning electron microscope. *Am J Orthod* 1981;79:500-22.
67. Dijkman G, Arends J. Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-cured composites: A quantitative model investigation on four materials with a fluoride content between 0 and 26 vol%. *Caries Res* 1992;26:351-57.
68. Dijkman G, de Vries J, Lodding A, Arends J. Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: a correlation with in situ demineralisation data. *Caries Res* 1993;27:117-23.
69. Dijkmann A, de Boer P, Arends J. In vivo investigation on the fluoride content in and on human enamel after topical applications. *Caries Res* 1983;17:392-402.
70. Dijkmann A, Nelson D, Jongebloed W, Weerkamp A, Arends J. In vivo plaque formation on enamel surfaces treated with topical fluoride agents. *Caries Res* 1985;19:547-57.
71. Djamchidi C, Hartung C, Jost-Brinkmann P-G. Cleaning efficacy of superfloss, special-floss and satinfloss/megafloss in patients with brackets. *Orthodontics* 2004;1:33-41.
72. Dyer D, Addy M, Newcombe R. Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and a standard toothpaste. *J Clin Periodontol* 2000;27:99-103.
73. Eberhard J, Hartman B, Lenhard M, Mayer T, Kocher T, Eickholz P. Digital subtraction radiography for monitoring dental demineralization. An in vitro study. *Caries Res* 2000;34:219-24.
74. Einwag J. Prophylaxe. In: Einwag J, Pieper K, editors. *Praxis der Zahnheilkunde: Kinderzahnheilkunde*. München: Urban&Fischer; 2002. p. 77-119.

75. Endt M. Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Komposit-Kunststoffen. Zahnmed Diss. Berlin: Charite Berlin; 1998.
76. Engel S, Jost-Brinkmann P, Spors C, Mohammadian S, Müller-Hartwich R. Abrasive effect of air-powder polishing on smoothsurface sealants. *J Orofac Orthop* 2009;70:363-70.
77. Fajen V, Duncanson Jr M, Nanda R, Currier G, Angolkar P. An in vitro evaluation of bond strength of three glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:316-22.
78. Featherstone J. The caries balance: contributing factors and early detection. *J Calif Dent Assoc* 2003;31:129-33.
79. Featherstone J, Duncan J, Cutress T. Crystallographic changes in human tooth enamel during in-vitro caries simulation. *Arch Oral Biol* 1978;23:405-13.
80. Ferracane J. Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil* 1994;21:441-52.
81. Fontana M, Gonzáles-Cabezas C, Haider A, Stookey G. Inhibition of secondary caries lesion progression using fluoride varnish. *Caries Res* 2002;36:129-35.
82. Forsberg C, Brattström V, Malmberg E, Nord C. Ligation wires and elastomeric rings: two methods of ligation, and their association with microbial colonization of *Streptococcus mutans* and *lactobacilli*. *Eur J Orthod* 1991;13:416-20.
83. Fraleigh C, Mc Elhaney J, Heiser R. Toothbrushing force study. *J Dent Res* 1967;46:209-14.
84. Francis M, Briner W, Gray J. Chemical agents in the control of calcification process in biological systems. *Ciba Fdn Symp* 1973;11:57-90.
85. Frazier M, Southard T, Doster P. Prevention of enamel demineralization during orthodontic treatment: an in vitro study using pit and fissure sealants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110:459-65.
86. 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.
87. Fujisawa S, Kadoma Y. Effect of phenolic compounds on the polymerization of methyl methacrylate. *Dent Mater* 1992;8:324-6.
88. Gale M, Darvell B. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27:89-99.
89. Gehlen I, Netuschil L, Georg T, Reich E, Berg R, Katsaros C. The influence of a 0.2% chlorhexidine mouthrinse on plaque regrowth in orthodontic patients. A randomized prospective study. Part 2: Bacteriological parameters. *J Orofac Orthop* 2000;61:138-48.
90. Geiger A, Gorelick L, Gwinnett A, Benson B. Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:403-7.
91. Geiger A, Gorelick L, Gwinnett A, Griswold P. The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:29-37.
92. Gontijo L, Cruz Rde A, Brandao P. Dental enamel around fixed orthodontic appliances after fluoride varnish application. *Braz Dent J* 2007;18:49-53.
93. Gorelick L, Geiger A, Gwinnett A. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 1982;81:93-8.

94. Gorton J, Featherstone J. In vivo inhibition of demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:10-4.
95. Gray G, Shellis P. Infiltration of resin into white spot caries-like lesions of enamel: an in vitro study. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2002;10:27-32.
96. Gray J. Kinetics of enamel dissolution during formation of incipient caries-like lesions. *Arch Oral Biol* 1966;11:397-422.
97. Gülzow H, Hellwig E, Hetzer G. Empfehlungen zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000;55:523.
98. Gwinnett A, Ceen R. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning microscope study. *Am J Orthod* 1979;75:667-77.
99. Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Bloching U. Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. *Dent Mater* 1993;9:191-7.
100. Hansen F, Gjermo P. The Plaque-removing effect of four toothbrushing methods. *Scand J Dent Res* 1971;79:502-6.
101. Harvey W, Powell K. Care of dental enamel for the orthodontic patient. *Aust Orthod J* 1981;7:70-6.
102. Heintze S. Individualprophylaxe bei Multiband-Patienten. (I) *Quintessence J* 1994;24:245-52.
103. Heintze S, Finke C, Jost-Brinkmann P, Miethke R-R. Individualprophylaxe in der Kieferorthopädie. *Quintessenz Int* 1992. p. 54.
104. Heintze S, Jost-Brinkmann P, Loundos J. Effectiveness of three different types of electric toothbrushes compared with a manual technique in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110:630-8.
105. Heintze S, Miethke R-R. Kieferorthopädie und Kariesrisiko. *Prakt Kieferorthop* 1993;7:31-46.
106. Helfenstein U, Steiner M. Fluoride varnishes (Duraphat): a meta-analysis. *Community Dent Oral Epidemiol* 1994;22:1-5.
107. Hellwig E. Individualprophylaxe aus kariologischer Sicht - Möglichkeiten und Grenzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:572-6.
108. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Ätiologie, Histologie und Epidemiologie der Karies und anderer Zahnhartsubstanzdefekte. Einführung in die Zahnerhaltung. 5. ed. München, Jena: Urban&Fischer; 2006. p. 24-7.
109. Hellwig E, Lussi A. What is the optimum fluoride concentration needed for the remineralization process? *Caries Res* 2001;35:57-9.
110. Hickman J, Millett D, Sander L, Brown E, Love J. Powered vs manual tooth brushing in fixed appliance patients: a short term randomized clinical trial. *Angle Orthod* 2002;72:135-40.
111. Hicks M, Silverstone L. Fissure sealants and dental enamel. A histological study of microleakage in vitro. *Caries Res* 1982;16:353-60.
112. Hintze H, Wenzel A, Larsen M. Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries diagnosis. *Caries Res* 1995;29:359-63.
113. Horowitz H, Heifetz S, Poulsen S. Retention and effectiveness of a single application of an adhesive sealant in preventing occlusal caries: final report after five years of a study in Kalispell, Montana. *J Am Dent Assoc* 1977;95:1133-9.

114. Hosein I, Orth M, Sherriff M, Ireland A. Enamel loss during bonding, debonding, and cleanup with use of self-etching primer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:717-24.
115. Hotz P. The abrasiveness of toothpastes. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1985;95:1066-7.
116. Hu W, Featherstone J. Prevention of enamel demineralization: an in-vitro study using light-cured filled sealant. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:592-600.
117. Huber S, Vernino A, Nanda R. Professional prophylaxis and its effect on the periodontium of full-banded orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:321-7.
118. Imazato S, Ebi N, Tarumi H, Russell R, Kaneko T, Ebisu S. Bacterial activity and cytotoxicity of antibacterial monomer MDPB. *Biomaterials* 1999;20:899-903.
119. Ingram G, Silverstone L. A chemical and histological study of artificial caries in human dental enamel in vitro. *Caries Res* 1981;15:393-8.
120. Jackson C. Comparison between electric toothbrushing and manual toothbrushing, with and without oral irrigation, for oral hygiene of orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:15-20.
121. Jaeggi T, Lussi A. Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. *Caries Res* 1999;33:455-61.
122. Joseph V, Roussouw P, Basson N. Some "sealants" seal--a scanning electron microscopy (SEM) investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;105:362-8.
123. Jost-Brinkmann P, Miethke R-R, Gehrke T. Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen und die Entwicklung von Karies, insbesondere Initialläsionen. *Inf Orthod Kieferorthop* 1996;28:327-36.
124. Jost-Brinkmann P, Nedwed V, Peng C-L, Yoshida N. Professionelle Zahnreinigung. Puffer-Wasser-Strahlgeräte in der Orthodontie. *Kieferorthop* 2000;2:23-30.
125. Kalha A. Topical fluorides and decalcification around fixed orthodontic appliances. *Evid Based Dent* 2006;7:38-9.
126. Kawai K, Heaven T, Retief D. In vitro dentine fluoride uptake from three fluoride-containing composites and their acid resistance. *J Dent* 1997;25:291-6.
127. Kilpatrick N, Murray J, McCabe J. A clinical comparison of a light cured glass ionomer sealant restoration with a composite sealant restoration. *J Dent* 1996;24:399-405.
128. Kim J, Takahashi Y, Kito M, Morimoto Y, Hasegawa J. Semi-quantitative analysis of early microleakage around amalgam restorations by fluorescent spectrum method: a laboratory study. *Dent Mater* 1992;11:45-58.
129. Kimmelman B, Tassman G. Research in designs of children's toothbrushes. *J Dent Child* 1960;27:60-4.
130. Klimek J, Prinz H, Hellwig E, Ahrens G. Effect of a preventive program based on professional toothcleaning and fluoride application on caries and gingivitis. *Community Dent Oral Epidemiol* 1985;13:295-98.
131. Kodaka T, Kuroiwa M, Okumura J, Mori R, Hirasawa S, Kobori M. Effects of brushing with a dentifrice for sensitive teeth on tubule occlusion and abrasion of dentin. *J Electron Microsc (Tokyo)* 2001;50:57-64.
132. Komori A, Kojima I. Evaluation of a new 2-paste glass ionomer cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:649-52.

133. Kossack C, Jost-Brinkmann P. 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.
134. Kukleva M, Shetkova D, Beev V. Comparative age study of the risk of demineralization during orthodontic treatment with brackets. *Folia Med (Plovdiv)* 2002;44:56-9.
135. Legler L, Retief D, Bradley E, Denys F, Sadowsky P. Effects of phosphoric acid concentration and etch duration on the shear bond strength of an orthodontic bonding resin to enamel. An in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:485-92.
136. Lobo M, Pecharki G, Tengan C, da Silva D, da Tagliaferro E, Napimoga M. Fluoride-releasing capacity and cariostatic effect provided by sealants. *J Oral Sci* 2005;47:35-41.
137. Locker D, Jokovic A, Kay E. Prevention. Part 8: The use of pit and fissure sealants in preventing caries in the permanent dentition of children. *Br Dent J* 2003;195:375-8.
138. Longman C, Pearson G. Variation in temperature of the oral cavity during the imbibition of hot and cold fluids. *J Dent Res* 1984;63:521.
139. Lopes M, Sinhoreti M, Correr Sobrinho L, Consani S. Comparative study of the dental substrate used in shear bond strength tests. *Pesqui Odontol Bras* 2003;17:171-5.
140. Lovrov S, Hertrich K, Hirschfelder U. Enamel demineralization during fixed orthodontic treatment - incidence and correlation to various oral-hygiene parameters. *J Orofac Orthop* 2007;68:353-63.
141. Lundström F, Krasse B. Streptococcus mutans and lactobacilli frequency in orthodontic patients; the effect of chlorhexidine treatments. *Eur J Orthod* 1987;9:109-16.
142. Marinho V, Higgins J, Logan S, Sheiham A. Fluoride varnishes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* [serial on the Internet]. 2002; CD002279(3).
143. Mattingly J, Sauer G, Yancey J, Arnold R. Enhancement of Streptococcus mutans colonization by direct bonded orthodontic appliances. *J Dent Res* 1983;62:1209-11.
144. McNeill C, Wiltshire W, Dawes C, Lavelle C. Fluoride release from new light-cured orthodontic bonding agents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:392-7.
145. Miethke R-R, Bernimoulin J. Effects of bands and brackets on the marginal periodontium. *Fortschr Kieferorthop* 1988;49:160-9.
146. Milgrom P, Weinstein P, Melnick S, Beach B, Spadafora A. Oral hygiene instruction and health risk assessment in dental practice. *J Public Health Dent* 1989;49:24-31.
147. Mirabella A, Årtun J. Risk factor for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:48-55.
148. Mitchell L. Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliances - an overview. *Br J Orthod* 1992;19:199-205.
149. Mizrahi E. Surface distribution of enamel opacities following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1983;84:323-31.
150. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1982;82:62-7.

151. Momoi Y, Iwase H, Nakano Y, Kohno A, Asanuma A, Yanagisawa K. Gradual increases in marginal leakage of resin composite restorations with thermal stress. *J Dent Res* 1990;69:1659-63.
152. Mühlemann H. Storage medium and enamel hardness. *Helvetica Odontologica Acta* 1964;8:112-7.
153. Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. *J Dent Res* 1983;62:1076-81.
154. 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 Prophylflex 2. Zahnmed Diss. Berlin: Charité - Universitätsmedizin Berlin; 2003.
155. Newburn E. Teaching and testing on caries and preventive dentistry. *J Prev Dent* 1989;1:28-34.
156. O'Reilly M, Featherstone J. Demineralization and remineralization around orthodontic appliances: an in vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;92:33-40.
157. Oesterle L, Shellhart W, Belanger G. The use of bovine enamel in bonding studies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:514-9.
158. Øgaard B. Cariologic aspects of orthodontic treatment. *Nor Tannlaegeforen Tid* 1989;99:802-5.
159. 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;96:423-7.
160. Øgaard B. Effects of fluoride on caries development and progression in vivo. *J Dent Res* 1990;69:813-23.
161. Øgaard B. Incidence of filled surfaces from 10-18 years of age in an orthodontically treated and untreated group in Norway. *Eur J Orthod* 1989;11:116-9.
162. Øgaard B, Alm A, Larsson E, Adolfsson U. A prospective, randomized clinical study on the effects of an amine fluoride / stannous fluoride toothpaste / mouthrinse on plaque, gingivitis and initial caries lesion development in orthodontic patients. *Eur J Orthod* 2006;28:8-12.
163. 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;104:378-83.
164. Øgaard B, Larsson E, Glans R, Henriksson T, Birkhed D. Antimicrobial effect of a chlorhexidine-thymol varnish (Cervitec) in orthodontic patients. A prospective, randomized clinical trial. *J Orofac Orthop* 1997;58:206-13.
165. Øgaard B, Larsson E, Henriksson T, Birkhed D, Bishara S. Effects of combined application of antimicrobial and fluoride varnishes in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:28-35.
166. Øgaard B, Rølla G, Arends J. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 1. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:68-73.
167. Øgaard B, Rølla G, Arends J, ten Cate J. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 2. Prevention and treatment of lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:123-8.
168. Øgaard B, Rølla G, Helgeland K. Fluoride retention in sound and demineralized enamel in vivo after treatment with a fluoride varnish (Duraphat). *Scand J Dent Res* 1984;92:190-7.

169. Øgaard B, TenBosch J. Regression of white spot enamel lesion: A new optical method for quantitative longitudinal evaluation in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:238-42.
170. Okuda M, Pereira P, Nikaido T, Tagami J. Evaluation of in vitro secondary caries using confocal laser scanning microscope and x-ray analytical microscope. *Am J Dent* 2003;16:191-6.
171. Orland F, Blayney J, Harrison R, Reyniers J, Trexler P, Wagner M, et al. Use of the germfree animal technic in the study of experimental dental caries. I. Basic observations on rats reared free of all microorganisms. *J Dent Res* 1954;33:147-74.
172. Palmer D, Barco M, Billy E. Temperature extremes produced orally by hot and cold liquids. *J Prosthet Dent* 1992;67:325-7.
173. Pancherz H, Mühlisch D. Entwicklung von Karies bei kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaturen - Ein Vergleich von Zähnen mit und ohne Kariesvorschädigungen. *Kieferorthop* 1997;11:139-44.
174. Paolantonio M, Pedrazzoli V, di Murro C, di Placido G, Picciani C, Catamo G, et al. Clinical significance of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in young individuals during orthodontic treatment. A 3-years longitudinal study. *J Clin Periodontol* 1997;24:610-7.
175. Papacchini F, Goracci C, Sadek F, Monticelli F, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Microtensile bond strength to ground enamel by glass-ionomers, resin-modified glass-ionomers, and resin composites used as pit and fissure sealants. *J Dent* 2005;33:459-67.
176. Parry J, Harrington E, Rees G, McNab R, Smith A. Control of brushing variables for the in vitro assessment of toothpaste abrasivity using a novel laboratory model. *J Dent* 2008;36:117-24.
177. Paschos E, Kleinschrodt T, Clementino-Luedemann T, Huth K, Hickel R, Kunzelmann K, et al. Effect of different bonding agents on prevention of enamel demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:603-12.
178. Paschos E, Kurochkina N, Huth K, Hansson C, Rudzki-Janson I. Failure rate of brackets bonded with antimicrobial and fluoride-releasing, self-etching primer and the effect on prevention of enamel demineralization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:613-20.
179. Paschos E, Okuka S, Ilie N, Huth K, Hickel R, Rudzki-Janson I. Investigation of shear-peel bond strength of orthodontic brackets on enamel after using ProSeal. *J Orofac Orthop* 2006;67:196-206.
180. Pascotto R, Navarro M, Capelozza Filho L, Cury J. In vivo effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:36-41.
181. Paterson R, Watts A, Saunders W, Pitts N. Modern concepts in the diagnosis and treatment of fissure caries: a review of clinical techniques and materials for the busy practitioner. The Quintessence Publishing Co Ltd. London 1991.
182. Pearce E, Larsen M, Coote G. Fluoride in enamel lining pits and fissures of the occlusal groove-fossa system in human molar teeth. *Caries Res* 1999;33:196-205.
183. Peretz B, Gluck G. Behavior and toothbrushing of young israeli adolescents. *J Dent Child* 1999;249-52.
184. Petersson L. Fluoride mouthrinses and fluoride varnishes. *Caries Res* 1993;27:35-42.

185. Petersson L, Twetman S, Dahlgren H, Norlund A, Holm A, Nordenram G, et al. Professional fluoride varnish treatment for caries control: a systematic review of clinical trials. *Acta Odontol Scand* 2004;62:170-6.
186. Philpotts C, Weader E, Joiner A. The measurement in vitro of enamel and dentine wear by toothpastes of different abrasivity. *Int Dent J* 2005;55:183-7.
187. Pienihäkkinen K, Jokela J. Clinical outcomes of risk-based caries prevention in preschool-aged children. *Community Dent Oral Epidemiol* 2002;30:143-50.
188. Pinar Erdem A, Sepet E, Kulekci G, Trosola S, Guven Y. Effects of two fluoride varnishes and one fluoride/chlorhexidine varnish on *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sobrinus* biofilm formation in vitro. *Int J Med Sci* 2012;9:129-36.
189. Radentz W, Barnes G, Cutright D. A survey of factors possibly associated with cervical abrasion of tooth surfaces. *J Periodontol* 1976;47:148-54.
190. Retief D, Mandras R, Russell C, Denys F. Extracted human versus bovine teeth in laboratory studies. *Am J Dent* 1990;3:253-8.
191. Retief D, Sorvas P, Bradley E, Taylor R, Walker A. In vitro fluoride uptake, distribution and retention by human enamel after 1- and 24-hour application of various topical fluoride agents. *J Dent Res* 1980;59:573-82.
192. Riethe P, Streib W, Schubring G. Klinische Untersuchungen mit Nuva Seal, Expolite 9070 und Fluor-Protector. *Dtsch Zahnärztl Z* 1977;32:853-5.
193. Rix D, Foley T, 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.
194. Rosenbloom R, Tinanoff N. Salivary *Streptococcus mutans* levels in patients before, during and after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:35-7.
195. Rueggeberg F. Substrate for adhesion testing to tooth structure - review of the literature. *Dent Mater* 1991;7:2-10.
196. Sachs L. *Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 1999.
197. Sagnes G, Gjermo P. Prevalence of oral soft and hard tissue lesions related to mechanical toothcleansing procedures. *Community Dent Oral Epidemiol* 1976;4:77-83.
198. Sakamaki S, Bahn A. Effect of orthodontic banding on localized oral lactobacilli. *J Dent Res* 1968;47:275-9.
199. Salem V, Raschio A, Montoya C. Klinische Untersuchung über die karieshemmende Langzeitwirkung des Fluor Protector-Lackes. *Kariesprophylaxe* 1979;1:145-8.
200. Sarker S, McLey L, Boyd R. Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: laboratory determination of relative interproximal cleaning efficiency of four powered toothbrushes. *J Clin Dent* 1997;8:81-5.
201. Saxer U, Barbakow J, Yankell S. New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use. *J Clin Dent* 1998;9:49-51.
202. Scheie A, Arneberg P, Krogstad O. Effect of orthodontic treatment on prevalence of *Streptococcus mutans* in plaque and saliva. *Scand J Dent Res* 1984;92:211-7.
203. Schlagenhauf U, Tobien P, Engelfried P. Effects of orthodontic treatment on individual caries risk parameters. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:758-60.

204. Schmidlin P, Besek M. Atraumatic tooth separation and proximal sealing: filling the gap between preventive and restorative dentistry. *Pract Proced Aesthet Dent* 2003;15:65-9.
205. Schmidt H. Ein neues Touchierungsmittel mit besonders lang anhaltendem intensivem Fluoridierungseffekt. *Stoma* 1964;17:14-20.
206. Schmit J, Staley R, Wefel J, Kanellis M, Jakobsen J, Keenan P. Effect of fluoride varnish on demineralization adjacent to bracket bonded with RMGI cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:125-34.
207. Schroeder H. Zähne - Pulpa - Parodont. In: Karger, editor. *Pathologie oraler Strukturen*. 2. ed. Zürich 1997.
208. Schulze H, Seemann R, Müller-Hartwich R, Jost-Brinkmann P. The caries-protective effect of sealants during orthodontic treatment. *Zahnmed Diss. Berlin: Charité* 2007.
209. Schwarzer S. Ernährungs- und Zahnpflegeverhalten von Patienten in Behandlung mit festsitzenden Apparaturen - eine Befragungsstudie. *Zahnmed Diss. Berlin: Charité*; 2004.
210. Seemann R, Bizhang M, Kluck I, Loth J, Roulet J. A novel in vitro microbial-based model for studying caries formation--development and initial testing. *Caries Res* 2005;39:185-90.
211. Seppä L. Fluoride content of enamel during treatment and 2 years after discontinuation of treatment with fluoride varnishes. *Caries Res* 1984;18:278-81.
212. Seppä L. Fluoride varnishes in caries prevention. *Med Princ Pract* 2004;13:307-11.
213. Seppä L, Tuutti H, Luoma H. Three-year report on caries prevention using fluoride varnishes of caries risk children in a community with fluoridated water. *Scand J Dent Res* 1982;90:89-94.
214. Silverstone L. Fissure sealants: the susceptibility to dissolution of acid-etched and subsequently abraded enamel in vitro. *Caries Res* 1977;11:46-51.
215. Silverstone L. Observations on the dark zone in early enamel caries and artificial caries-like lesions. *Caries Res* 1967;1:260-74.
216. Silverstone L. Fissure sealants - Part 2. *Dent Update* 1977;4:73-83.
217. Silverstone L, Wefel J, Zimmerman B, Clarkson B, Featherstone M. Remineralization of natural and artificial lesions in human dental enamel in vitro. Effect of calcium concentration of the calcifying fluid. *Caries Res* 1981;15:138-57.
218. Slop D, Arends J. Surface roughening of human enamel after toothbrushing. *J Biol Buccale* 1987;15:159-62.
219. Sobiegalla A. Protektive Wirkung von Bracketumfeldversiegelungs-Lacken gegen Initialkaries und Entkalkungen in vivo. *Zahnmed Diss. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen*; 2009.
220. Soliman M, Bishara S, Wefel J, Heilman J, Warren J. Fluoride release rate from an orthodontic sealant and its clinical implications. *Angle Orthod* 2006;76:282-8.
221. Sorensen J, Nguyen H. Evaluation of toothbrush-induced dentin substrate wear using an in vitro ridged-configuration model. *Am J Dent* 2002;15:26-32.
222. Stahl A. Indication, time and prognosis in orthodontic treatment using fixed appliances. *Dtsch Zahnärztl Z* 1974;29:695-700.
223. Stecksén-Blicks C, Renfors G, Oscarson N, Bergstrand F, Twetman S. Caries-preventive effectiveness of a fluoride varnish: a randomized controlled trail in adolescents with fixed orthodontic appliances. *Caries Res* 2007;41:455-9.

224. Sudjalim T, Woods M, Manton D. Prevention of white spot lesions in orthodontic practice: a contemporary review. *Aust Dent J* 2006;51:284-9.
225. Sudjalim T, Woods M, Manton D, Reynolds E. Prevention of demineralization around orthodontic brackets in vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:705-9.
226. Tanna N, Kao E, Gladwin M, Ngan P. Effects of sealant and self-etching primer on enamel decalcification. Part I: an in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:199-205.
227. ten Cate J. Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. *Acta Odontol Scand* 1999;57:325-9.
228. ten Cate J. Lesion formation with methylcellulose gel. In: CEP002 P, editor. Amsterdam: Academic Centre of Dentistry; 2005.
229. ten Cate J, Buijs M, Miller C, Exterkate R. Elevated fluoride products enhance remineralization of advanced enamel lesions. *J Dent Res* 2008;87:943-7.
230. ten Cate J, Dundon K, Vernon P, Damato F, Huntington E, Exterkate R, et al. Preparation and measurement of artificial enamel lesions, a four-laboratory ring test. *Caries Res* 1996;30:400-7.
231. Tezel A, Canakci V, Cicek Y, Demir T. Evaluation of gingival recession in left- and right-handed adults. *Int J Neurosci* 2001;110:135-46.
232. Thienpont V, Dermaut L, Van Maele G. Comparative study of 2 electric and 2 manual toothbrushes in patients with fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:353-60.
233. Thylstrup A, Boyar R, Holmen L, Bowden G. A light and scanning electron microscopic study of enamel decalcification in children living in a fluoridated-water area. *J Dent Res* 1990;69:1626-33.
234. Tillery T, Hembree Jr. J, Weber F. Preventing enamel decalcification during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1976;70:435-9.
235. Todd M, Staley R, Kanellis M, Donly K, Wefel J. Effect of fluoride varnish on demineralization adjacent to orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:159-67.
236. Twetman S, Mc William J, Hallgren A, Oliveby A. Cariostatic effect of glass ionomer retained orthodontic appliances: An in vivo study. *Swed Dent J* 1997;21:169-75.
237. Van der Linden R, Dermaut L. White spot formation under orthodontic bands cemented with glass ionomer with or without Fluor Protector. *Eur J Orthod* 1998;20:219-24.
238. Vivaldi-Rodrigues G, Demito C, Bowman S, Ramos A. The effectiveness of a fluoride varnish in preventing the development of white spot lesions. *World J Orthod* 2006;7:138-44.
239. Von der Fehr F, L oe H, Theilade E. Experimental caries in man. *Caries Res* 1970;4:131-48.
240. Wefel J, Harless J. Comparison of artificial white spots by microradiography and polarized light microscopy. *J Dent Res* 1984;63:1271-5.
241. Weinstein P, Milgrom P, Melnick S, Beach B, Spadafora A. How effective is oral hygiene instruction? Results after 6 and 24 weeks. *J Public Health Dent* 1989;49:32-8.

242. Wenderoth C, Weinstein M, Borislow A. Effectiveness of a fluoride-releasing sealant in reducing decalcification during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;166:629-34.
243. Wicht M, Haak R, Lummert D, Noack M. Therapy of root caries lesions with antimicrobial varnishes and sealants. *J Dent Res* 2000;79:3597.
244. Wiegand A, Köwing L, Attin T. Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol* 2007;52:1043-7.
245. Wilcoxon D, Ackerman R, Killoy W, Love J, Sakumura J, Tira D. The effectiveness of a counterrotational-action power toothbrush on plaque control in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:7-14.
246. Wilson R, Donly K. Demineralization around orthodontic brackets banded with resin-modified glass ionomer cement and fluoride-releasing resin composite. *Paediatr Dent* 2001;23:255-9.
247. Wiltshire W, Janse van Rensburg S. Fluoride release from four visible light-cured orthodontic adhesives resins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:278-83.
248. Zachrisson B. Toothbrushing in patients with orthodontic appliances. *Nor Tannlaegeforen Tid* 1971;81:686-93.
249. Zachrisson B. Cause and prevention of injuries to teeth and supporting structures during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1976;69:285-300.
250. Zachrisson B. A posttreatment evaluation of direct bonding in orthodontics. *Am J Orthod* 1977;71:173-89.
251. Zachrisson B. JCO/interviews Dr. Bjorn U. Zachrisson on iatrogenic damage in orthodontic treatment (part 2). Interview by Sidney Brandt. *J Clin Orthod* 1978;12:208-20.
252. Zachrisson B. JCO/interviews Dr. Bjorn U. Zachrisson on iatrogenic damage in orthodontic treatment (part 1). Interview by Sidney Brandt. *J Clin Orthod* 1978;12:102-13.
253. Zachrisson B, Heimgård E, Ruyter I, Mjör I. Problems with sealants for bracket bonding. *Am J Orthod* 1979;75:641-9.
254. Zachrisson B, Zachrisson S. Caries incidence and orthodontic treatment with fixed appliances. *Scand J Dent Res* 1971;79:183-92.
255. Zaura-Arite E, ten Cate J. Effects of fluoride- and chlorhexidine-containing varnishes on plaque composition and on demineralization of dentinal grooves in situ. *Eur J Oral Sci* 2000;108:154-61.
256. Zimmer B, Rottwinkel Y. Assessing patient-specific decalcification risk in fixed orthodontic treatment and its impact on prophylactic procedures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:318-24.
257. Zimmer S, Bizhang M, Seemann R, Barthel C. Effectiveness of preventive programs on oral hygiene of adults and school children. *Gesundheitswesen* 2001;63:98-101.

10 Anhang

10.1 Verwendete Materialien und Geräte

- Bandsäge, 0,1 mm, Trennschleifsystem 300 CL, Fa. EXAKT, Norderstedt, Deutschland
- Bildanalyse Software Image C, Fa. Imtronic, Berlin, Deutschland
- Demineralisationslösung, ten Cate-Lösung pH4,6; Laboratorium C.E.P. (Centre of Economic Performance)
- Einbettkunststoff Individuo Lux, Voco GmbH, Cuxhaven, Deutschland
- FluorProtector, Ivoclar Vivadent AG, Ellwangen, Jagst, Deutschland
- Halogen-Lampe, Ortholux™ XT Curing Light, Firma 3M Unitek
- K9-Handstück, KaVo Dental, Biberach, Deutschland
- LightCure, Dental Technologies, Lincolnwood, Illinois, USA
- Mikroschleifsystem, Exakt 400 CS, Fa. Exakt, Norderstedt, Deutschland
- Modelltrimmer HSS-88, Fa. Wassermann, Dental-Maschinen GmbH, Hamburg, Deutschland
- Nagellack, farblos, Resist & Shine Pro Kératine Nagellack, L'Oréal, Paris, Frankreich
- Parafilm® M, Brand GmbH + Co KG, Wertheim, Deutschland
- Phosphorsäure Total Etch, Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, Deutschland
- Pindex® System, Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz
- Plexiglas-Objektträger, 25 x 75 x 2 mm, Fa. Diaplug, Oststeinbeck, Deutschland
- ProSeal, Reliance Orthodontic Products Inc., Itasca, Illinois, USA
- Prophylaxepulver, Air-Flow®, Fa. EMS, München, Deutschland
- ProtectoF, BonaDent, Frankfurt/Main, Deutschland
- Pulver-Wasser-Strahlgerät, AIR-FLOW® Prep K1 MAX, Fa. EMS, München, Deutschland
- Soflex-Scheiben, 3M Espe GmbH, Neuss, Deutschland
- Seal&Protect, Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutschland
- Sekundenkleber, Cyanacrylatkleber, Fa. Omnident, Rodgau, Deutschland

- Statistikprogramm PASW[®], Version 18 für Windows, SPSS GmbH, München, Deutschland
- Stereo-Lichtmikroskop Stemi SV 11, Fa. Carl Zeiss, Jena, Deutschland
- Tiefenfluorid, Humanchemie GmbH, Alfeld, Deutschland
- Videokamera, TK-1070E, Fa. JVC, Friedberg, Deutschland
- Wärmeschrank, T6060, Fa. Heraeus, Hanau, Deutschland
- Zahnbürste Oral B Cross Soft Action 35, Procter & Gamble Company, Cincinnati, Ohio, USA

10.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Zahnprobe in eingebettetem rosafarbenen Kunststoff und zwei am Boden des Kunststoff-Blocks vorhandene Pins
- Abb. 2 Bukkale Ansicht einer Zahnkrone mit Kunststoffsockel nach thermischer, mechanischer und chemischer Belastung. Die ursprünglich kariesfreie Testseite war zuvor durch Auftragen von Nagellack in drei Bereiche unterteilt worden: Testbereich für das untersuchte Produkt (A), Positiv-Kontrolle mit Nagellack (B), unbehandelte Negativ-Kontrolle (C).
- Abb. 3 Schematische Darstellung der Thermocycling-Apparatur.
- Abb. 4 Thermische Steuereinheit für das Wärmebad (A) und für das Kältebad (B).
- Abb. 5 Wärmebad (A), Kältebad (B), schwenkbarer Korb mit Zahnproben (C), thermische Steuereinheit (D).
- Abb. 6 Darstellung der Putzmaschine. Wanne zum Aufnehmen der Zahnproben und der Suspension (A), fünf metallische Leisten mit Zahnbürstenköpfen, die um 180° umgeklappt werden (B), und der Elektromotor mit mechanischem Zählwerk (C).
- Abb. 7 Wanne mit Leiste und aufgesteckten Zahnproben vor dem Einfüllen der Suspension zum Putzvorgang.
- Abb. 8 Zahnprobe in Wanne mit Bürstenkopf auf bukkaler Zahnfläche
- Abb. 9 Putzmaschine beim Putzvorgang. Wanne mit Suspension (A), metallische Leisten mit an der unteren Seite befindlichen Bürstenköpfen (B), Gewichte über den Bürstenköpfen für den Anpressdruck (C), Elektromotor mit mechanischem Zählwerk (D).
- Abb. 10 Schematische Darstellung der Probenanordnung zum Erzeugen

- künstlicher Kariesläsionen.
- Abb. 11 Zahnproben auf Objektträger aus Plexiglas.
- Abb. 12 Übersichtsaufnahme einer Zahnprobe, die zur Vorbereitung der lichtmikroskopischen Untersuchung zentrisch in mesiodistaler Richtung durchtrennt, geschliffen und poliert wurde.
- Abb. 13a Lichtmikroskopische Aufnahme einer Zahnprobe: Rückstände des Bracketumfeldversieglers, gesunder Schmelz, kariesähnliche Läsion.
- Abb. 13b Lichtmikroskopische Aufnahme mit Markierungen der Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.
- Abb. 14 Grafische Darstellung und Erläuterung eines Boxplots.
- Abb. 15 Lichtmikroskopische Aufnahme eines Ausschnitts einer Kontrollseite (ohne Versiegelungslack). Mittels Ausmessen der Läsion in der lichtmikroskopischen Aufnahme wurden die Fläche der Demineralisation, die Oberfläche der Zahnprobe sowie die maximale und die minimale Läsionstiefe ermittelt.
- Abb. 16a und b Boxplot-Darstellung der demineralisierten, nicht versiegelten Kontrollflächen: a) Mittlere Läsionstiefen; b) Demineralisierte Flächen.
Die Überprüfung der Kontrollseiten auf signifikante Unterschiede erfolgte mittels Varianzanalyse (ANOVA).
- Abb. 17 Lichtmikroskopische Aufnahme einer Probenseite mit ProSeal.
- Abb. 18a und b Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit ProSeal im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.
××: Hoch signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.
- Abb. 19 Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit LightCure versiegelten Zahnes mit markierter Demineralisationsfläche und der Oberfläche des untersuchten Ausschnitts.
- Abb. 20a und b Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit LightCure im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.
n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.
- Abb. 21 Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit Seal&Protect versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.
- Abb. 22a und b Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der

- demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit Seal&Protect im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.
n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.
- Abb. 23 Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit Tiefenfluorid versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.
- Abb. 24a und b Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit Tiefenfluorid im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.
n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.
- Abb. 25 Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit ProtectoF versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.
- Abb. 26a und b Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit ProtectoF im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.
n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.
- Abb. 27 Lichtmikroskopische Aufnahme der Probenseite eines mit FluorProtector versiegelten Zahnes mit markierter Strecke der Zahnoberfläche und der Demineralisationsfläche.
- Abb. 28a und b Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen (a) und der demineralisierten Flächen (b) nach Versiegelung mit FluorProtector im Vergleich zur unbehandelten Kontrollseite.
n. s.: Nicht signifikanter Unterschied laut t-Test für abhängige Stichproben.
- Abb. 29 Boxplot-Darstellung der mittleren Läsionstiefen der mit den verschiedenen Produkten behandelten Probenseiten.
××: Hoch signifikanter Unterschied laut Varianzanalyse ANOVA ($p < 0,01$).
- Abb. 30 Boxplot-Darstellung der demineralisierten Flächen der mit den verschiedenen Produkten behandelten Probenseiten.
××: Hoch signifikanter Unterschied laut Varianzanalyse ANOVA ($p < 0,01$).

10.3 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1 Verwendete Materialien für die Bracketumfeldbehandlung und deren Zusammensetzung nach Herstellerangaben
- Tab. 2 Vorgehen bei der Schmelzkonditionierung
- Tab. 3 Zusammenfassung der Kennwerte für die grafische Darstellung
- Tab. 4 Methodenfehler der untersuchten Messwerte.
- Tab. 5 Die durchschnittlichen Werte aller Kontrollseiten
- Tab. 6 Messwerte der 20 Probenseiten mit ProSeal
- Tab. 7 Messwerte der 20 Probenseiten mit LightCure
- Tab. 8 Messwerte der 20 Probenseiten mit Seal&Protect
- Tab. 9 Messwerte der 20 Probenseiten mit Tiefenfluorid
- Tab. 10 Messwerte der 20 Probenseiten mit ProtectoF
- Tab. 11 Messwerte der 20 Probenseiten mit FluorProtector
- Tab. 12 Methodenfehler der untersuchten Messwerte. Ermittelt wurde der Methodenfehler nach der Formel von Dahlberg für alle gemessenen Werte der Proben- und Kontrollseite.

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Paul-Georg Jost-Brinkmann, Direktor der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin der Charité - Universitätsmedizin Berlin für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas bedanken.

Herzlichen Dank an Herrn Dr. Ralf Müller-Hartwich, der mich durch sein Engagement und seine Kompetenz in allen Fragen bei dieser Arbeit unterstützte.

Besonders danke ich meinen Eltern Dres. Karin und Volkmar Cordes, die mir das Studium ermöglichten und mir eine Hilfe waren, sowie meiner Schwester Dr. Annekatrin Cordes, die mich bei dieser Arbeit sehr unterstützte.

12 Lebenslauf

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

Erklärung

„Ich, Stefanie Louise Coordes, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleich verschiedener Präparate zur Prävention von Demineralisationen im Bracketumfeld“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den 03.09.2012

Stefanie Louise Coordes