

Aus der
Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin des
CharitéCentrum 03 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der
Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

Dissertation

**Einflüsse von Pulver-Wasser-Strahlgeräten mit verschiedenen
Strahlmitteln auf bovine Zähne der 1. und 2. Dentition sowie humane
Milchzähne**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Zahnarzt Mohammad Khalefa
aus Damaskus

Datum der Promotion: 12.09.2014

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassungen	1
1.1	Zusammenfassung	1
1.2	Summary	3
2	Einleitung	5
3	Literaturüberblick	7
3.1	Karies und Parodontitisrisiko im Kindesalter	7
3.2	Grundlagen eines Prophylaxekonzeptes	9
3.2.1	Effiziente Mundhygiene	10
3.2.2	Regelmäßige Fluoridierung	14
3.2.3	Zahngesunde Ernährung	17
3.2.4	Fissurenversiegelung	18
3.3	Mikromorphologische Unterschiede des Schmelzes zwischen humanen Zähnen der 1. und 2. Dentition	19
3.4	Mikromorphologische Unterschiede des Schmelzes boviner und humaner Zähne	22
3.5	Pulver-Wasser-Strahlgeräte in der Prophylaxe	24
3.5.1	Entwicklung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte	24
3.5.2	Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Zahnschmelz	25
3.5.3	Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Dentin und Wurzel-zement	28
3.5.4	Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Weichgewebe	30
3.5.5	Einfluss verschiedener Pulver-Wasser-Strahlgeräte-Einstellungen	32
3.5.6	Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf restaurative zahnärztliche Materialien und orthodontische Apparaturen	33
3.5.7	Prophylaxepulver	35
3.5.8	Sicherheitshinweise für den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten	37
3.5.9	Kontraindikationen für den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten	37
4	Fragestellungen	39
5	Materialien und Methoden	41
5.1	Verwendete Pulver-Wasser-Strahlgeräte	41
5.2	Verwendete Strahlmittel	42

5.3	Untersuchungen zur Oberflächenveränderung von Zahnschmelz durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte im Vergleich zu konventioneller Politur	43
5.3.1	Herstellung der Prüfkörper	43
5.3.1	Vorbereitung der Schmelzoberfläche	44
5.3.2	Verwendete Prophylaxepasten und Applikatoren	46
5.3.3	Bearbeitung der Prüfkörper	46
5.3.4	Oberflächenmessungen	49
5.3.5	Auswertung der Oberflächenmessungen	51
6	Ergebnisse	55
6.1	Veränderung der Schmelzoberfläche von Rinder-, Kälber- und menschlichen Milchzähnen durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte	55
6.1.1	Rauheit	57
6.1.2	Schmelzabtrag	63
7	Diskussion	67
7.1	Diskussion der Fragestellung	67
7.2	Diskussion der untersuchten Materialien und Geräte	67
7.3	Diskussion der untersuchten Methoden	70
7.4	Diskussion der Wirkung einer PWS-Behandlung auf Zahnschmelz im Vergleich zu konventioneller Politur	76
8	Schlussfolgerungen	81
9	Literaturverzeichnis	83
10	Anhang	105
10.1	Materialliste	105
10.2	Abbildungsverzeichnis	106
10.3	Tabellenverzeichnis	110
10.4	Danksagung	111
10.5	Lebenslauf	112
10.6	Publikationsliste	113
10.7	Eidesstattliche Versicherung	114

Meiner Familie gewidmet.

1 Zusammenfassungen

1.1 Zusammenfassung

Eine Pulver-Wasser-Bestrahlung zum Entfernen von Biofilm und Verfärbungen wird bei Erwachsenen als zeitökonomische Alternative zur herkömmlichen Zahnpolitur eingesetzt. Zur Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf den Zahnschmelz der 1. Dentition gibt es jedoch kaum Daten. Deshalb war es das Anliegen dieser In-vitro-Arbeit zu prüfen, ob Pulver-Wasser-Strahlgeräte zur regelmäßigen Zahnreinigung bei Kindern und Jugendlichen mit Zähnen der 1. und 2. Dentition geeignet sind.

Die Kronen unterer Inzisivi frisch geschlachteter Tiere (Kälber und Rinder) wurden partiell in Polyurethan-Gießmasse eingebettet und planpoliert. Als Vergleich wurden menschliche Inzisivi und 2. Milchmolaren genauso eingebettet und planpoliert. Die zwischenzeitliche Lagerung erfolgt in 0,1%ige Thymollösung. Die Zähne wurden zufällig – getrennt nach Zahntyp – 22 Gruppen zugeordnet (n=10). Mit der Verteilung der Zähne auf 22 Gruppen wurde erreicht, dass jeder Zahntyp in seiner entsprechenden Gruppe jeweils mit einer Kombination aus Pulver-Wasser-Strahlgerät (PWS) (PROPHYflex 3[®], Air-Flow[®] Handy 2+) und Strahlmittel (Air-Flow[®] Pulver Classic (NaHCO₃), ClinPro[™] Prophy Powder (Glyzin), PROPHYpearls[®] (CaCO₃)) bearbeitet wurde oder als Vergleich mit den Prophylaxepasten CCS[®] 40 oder Cleanic[®] mittels einer Bürste bei niedriger Drehzahl bearbeitet wurde. Bestrahlung: 60 s, Abstand 5 ± 0,5 mm, maximale Pulver- und Wassereinstellung, der Pulver-Wasser-Strahl traf senkrecht auf die Oberfläche. Die bearbeiteten Schmelzoberflächen wurden mittels mechanischer Profilometrie (Perthometer PCV) untersucht. Dabei wurde neben mehreren Rauheitskenngrößen (R_a, R_z, R_{max}) auch der Schmelzabtrag anhand der Wellentiefe (Wt) bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgt mit Stata/IC 11.2 für Windows. Mithilfe einer Varianzanalyse (F-Test) wurde global getestet, welcher der Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Differenz der Rauheitskenngrößen zwischen vor und nach Bestrahlung hatte. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgesetzt.

- Plangeschliffener und hochglanzpolierter Zahnschmelz wurde sowohl durch die getesteten Prophylaxepasten (CCS[®] 40, Cleanic[®]) als auch jede untersuchte PWS-Anwendung (Air-Flow[®] Handy 2+, PROPHYflex[®] 3) aufgeraut.
- PROPHYflex[®] 3 führt zu signifikant rauerer Oberflächen als Air-Flow[®] Handy 2+.
- Bei bleibenden Rinderzähnen erzeugte die Bestrahlung/Prophylaxe-Paste jeweils zu signifikant geringere Veränderungen als bei Kälber- und Milchzähnen. Zwischen bovinen und humanen Milchzähnen bestand kein signifikanter Unterschied.
- Die erzielten Oberflächen nach PWS-Anwendung waren rauer als nach CCS[®] 40-Anwendung aber vergleichbar mit der Wirkung von Cleanic[®].
- Der Schmelzverlust durch Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] war gleich oder geringer als der mit Cleanic[®]-Paste gemessene
- PROPHYpearls[®] führte zu signifikant mehr Aufrauung und Abtrag als Air-Flow[®] Pulver Classic und ClinPro[™] Prophy Powder.

Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex[®] 3 erzeugten Rauheit, die sich nicht von der Rauheit durch Politur mittels Prophylaxepaste Cleanic[®] unterscheidet. PWS eignen sich bei Kindern mit Wechselgebiss und festsitzenden Apparaturen in vierwöchigem Abstand zur regelmäßigen Entfernung von Plaque- und Verfärbungen. PROPHYpearls[®] ist zu aggressiv und sollte nicht angewendet werden.

1.2 Summary

Air-polishing-devices are used by adults to remove biofilm and discoloration as an efficient alternative to conventional tooth polishing. There is hardly any data for the effect of air-polishing-devices on the enamel of the 1st dentition. Therefore the purpose of this in vitro study was to examine, whether air-polishing-devices are suitable for regular teeth cleaning in children and adolescents with teeth of the 1st and 2nd dentition.

Crowns from lower incisors of freshly slaughtered animals (calves, cattle) were partially embedded in polyurethane casting resin and polished flat. As a comparison, human primary incisors and second primary molars were also embedded and polished flat. Before and after embedding, the teeth were kept in 0.1% thymol solution. The teeth were then separated according to type and randomly assigned to 22 groups (n=10). With the distribution of the teeth into 22 groups, each tooth type (cattle, calf and human primary) in its corresponding group was treated with a combination of air-polishing-devices (PROPHYflex 3[®], Air-Flow[®] Handy 2+) and Abrasives (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder, PROPHYpearls[®]) or was polished with CCS[®] 40 or Cleanic[®] using a brush at low speed; exposure time: 60 seconds, air-polisher nozzle distance 5 ± 0.5 mm, maximum setting. Subsequently, various surface texture parameters (R_a , R_z , R_{max}) and the maximum loss of enamel were determined by profilometry (Perthometer PCV). Statistical analysis was performed with Stata/IC 11.2 for Windows. An ANOVA F-test was used to test globally which of the variables had a significant impact on the differences in surface roughness compared to the baseline after air-polishing. Findings were considered statistically significant at $p < 0.05$.

- Enamel, ground smooth and highly polished, was raised by application of polishing pastes (CCS[®] 40, Cleanic[®]) as well as air-polishing-devices (Air-Flow[®] Handy 2+, PROPHYflex[®] 3).
- PROPHYflex 3[®] produced significantly rougher surfaces than Air-Flow[®] Handy 2+.
- Roughness on permanent bovine teeth after application of air-polishing-devices or polishing pastes was significantly smaller than on calves and primary teeth. There was no significant difference in the roughness between calves and primary teeth.

- The roughness produced after the application of Air-Flow[®] Handy 2+ and PROPHYflex[®] 3 was significantly greater than with CCS[®] 40-paste, but comparable with Cleanic[®]-paste.
- Enamel abrasion produced by air-polishing-devices was equivalent or smaller than the effect of Cleanic[®]-paste.
- PROPHYpearls[®] produced significantly greater roughness and more enamel abrasion than Air-Flow[®] Pulver Classic and ClinPro[™] Prophy Powder.

Air-Flow[®] Handy 2+ and PROPHYflex[®] 3 produced roughness which is not different from the roughness produced by polishing using Cleanic[®]-paste. Air-polishing-devices are suitable every four weeks for routine removal of plaque and discoloration among children with mixed dentition and fixed orthodontic appliances. PROPHYpearls[®] is too aggressive and should not be used.

2 Einleitung

Um Karies und Gingivitis zu verhindern, müssen auch die Zähne der 1. Dentition regelmäßig und gründlich von Zahnbelag gereinigt werden. An den Zähnen haftende Speisereste und weiche Beläge (Biofilm) kann der Patient, beziehungsweise können die Eltern, durch gründliches Zähneputzen selbst entfernen und somit dem Entstehen festsitzender Beläge entgegenwirken. Verfärbungen, harte Beläge und Zahnstein müssen jedoch vom Zahnarzt beziehungsweise einem/r entsprechend geschulten Prophylaxehelfer/in oder Dentalhygieniker/in entfernt werden.

Dem Zahnarzt stehen für die professionelle Zahnreinigung zahlreiche Instrumente zur Verfügung [215, 256, 265]:

- Handinstrumente
- Finierer
- Feilen
- Polierpasten und Bürsten/Kelche
- Ultraschallgeräte
- **Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PWS)**

Seit der Einführung der PWS vor zirka 30 Jahren haben sie in mehreren Gebieten der Zahnmedizin erhebliche Verbreitung gefunden. Sie arbeiten zumeist mit Natriumbikarbonat-, Calciumcarbonat- oder Glycin-Pulver, das durch ein Wasser-Druckluft-Gemisch auf den Zahn geblasen wird [182]. Dadurch können Verfärbungen und Beläge auch in tiefen Fissuren und engen Approximalräumen effizient beseitigt werden [220].

Auf dem Markt gibt es mehr als 20 verschiedene PWS [118]. Die Anwendungsbereiche dieser PWS-Geräte in der Zahnmedizin sind vielfältig: sowohl in der Prophylaxe [47, 116, 147, 169, 259] als auch in der Parodontologie [87, 106, 110] oder Implantologie [16, 200]. In der Literatur haben etliche Studien die PWS-Geräte bezüglich ihrer Wirkungen und Nebenwirkungen verglichen [107, 116, 134, 138, 147, 169, 182, 189, 219] und einige haben zudem die Effekte verschiedener Pulver [86, 187, 220, 259, 261] untersucht. Hosoya et al. [107] sind jedoch die einzigen, die laut der Datenbank Pubmed die Wirkungen von PWS auf Milchzahnschmelz untersucht haben.

Ziel der vorliegenden In-vitro-Arbeit ist es, die Wirkungen zweier PWS (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®]) in Kombination mit 3 verschiedenen Pulvern auf Milchzahnschmelz zu untersuchen und mit der Wirkung auf bovinen Zahnschmelz der 2. Dentition zu vergleichen.

3 Literaturüberblick

3.1 Karies und Parodontitisrisiko im Kindesalter

Heute wird Karies als eine krankhafte Gleichgewichtsverschiebung angesehen, bei der im Biotop Mundhöhle die Demineralisation gegenüber der Remineralisation überwiegt. Karies beginnt mit einer Demineralisation durch ausgereifte Plaque, die sich über einen Kreidefleck zu einem makroskopischen Defekt entwickelt [197].

Nach Keyes sind drei Faktoren für das Entstehen von Karies erforderlich: der Zahn als Wirt, Säure bildenden Mikroorganismen und vergärbare Substrat, besonders in Form von niedermolekularen Kohlenhydraten [125]. König fügte 1971 die Zeit als vierten Faktor hinzu [130]. Um eine Läsion in der Zahnhartsubstanz zu erzeugen, müssen alle diese Faktoren gleichzeitig vorhanden sein (Abb. 1). Zusätzlich zu diesen Hauptfaktoren wirken verschiedene sekundäre Faktoren wie die Eigenschaften des Speichels, die Immunabwehr sowie sozioökonomische Komponenten bei der Entstehung und Progression von Karies [104]. Als Leitkeime in der Kariesätiologie werden *Streptococcus mutans* und *Lactobacillus* angesehen [51].

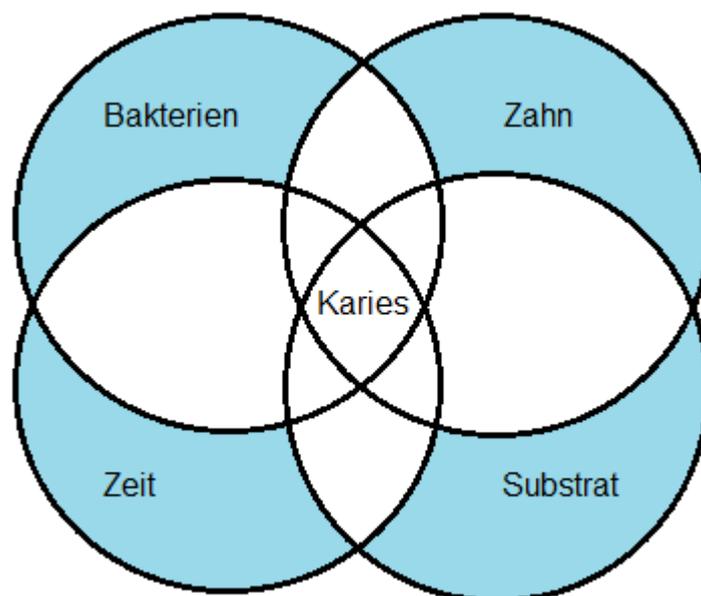


Abb. 1 Kariesschema. Modifikation nach König [130]

Die Bedeutung der Milchzahnkaries für das bleibende Gebiss ist hinreichend bekannt [152, 176, 223], sodass die orale Gesundheit Jugendlicher nur durch wirksame Prävention im Milchgebiss erhalten oder verbessert werden kann. Folgt man den

Angaben der American Dental Association, so besteht bei Kindern und Jugendlichen, die mehr als zwei kariöse Läsionen innerhalb des letzten Jahres entwickelten, ein hohes Kariesrisiko. Selbiges liegt bei einem Erwachsenen vor, bei dem es innerhalb der letzten drei Jahre zu neuen kariösen Läsionen von mehr als zwei Zahnflächen gekommen ist [133].

In Skandinavien ist die Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen seit 1970 stark gesunken [112], während für Westdeutschland erst nach 1980 eine Kariesreduktion bei Kindern und Jugendlichen dokumentiert werden konnte [228]. Dieser erfreuliche Trend konnte in einer Studie zwischen 1994/95 und 2004 auch in Gesamtdeutschland nachgewiesen werden [194].

1994/95 lag der mittlere dmf-t-Wert bei den 6- bis 7-Jährigen in Deutschland bei 2,89, das heißt, im Mittel waren 2,89 Milchzähne kariös beziehungsweise wegen Karies gefüllt oder extrahiert beziehungsweise durch Trauma verloren gegangen. Der mittlere dmf-t reduzierte sich bis zum Jahr 2004 auf 2,16. Dies entspricht einem Rückgang um 25,3 % innerhalb von zehn Jahren. Bei den 12-Jährigen verringerte sich der mittlere DMF-T zwischen 1994 und 2004 von 2,44 auf 0,98. Damit lagen die mittleren DMF-T-Werte 2004 um 59,8 % niedriger als 1994 [194]. Diese positive Entwicklung konnte auch bei den Erwachsenen nachgewiesen werden. Nach der vierten Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV) ist für die 35- bis 44-jährigen ein deutlicher Rückgang der Karieserfahrung gegenüber (DMS III) zu verzeichnen: Der Kariesindex ist von 16,1 im Jahr 1997 auf 14,5 im Jahr 2005 gefallen [157].

Destruktive Parodontitiden sind im Kindesalter selten, leichte Formen von Gingivitis dagegen häufig. Mühlemann und Mazor [166] konnten 1958 bereits 26 epidemiologische Studien über Gingivitis im Schulalter zitieren. Allerdings waren die diagnostischen Methoden zu verschieden, um zuverlässige Vergleiche zu ermöglichen; der Anteil der Kinder mit Gingivitis reichte von 3,5 % bis 99,4 %. Leider veränderten sich diese Ergebnisse auch während der folgenden 20 Jahre kaum [59]. Bei einer Multibracket-Behandlung kommt es oft zu einer verstärkten Plaqueakkumulation bzw. Gingivitis [117]. Cardoso-Silva et al. [45] stellten fest, dass es während einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung zu einer Erhöhung des Gingiva- und Plaque-Indexes kommt, ohne dass dies jedoch eine Auswirkung auf die Anwesenheit und Anzahl von Bakterien hat. Im Gegensatz dazu fanden Kim et al. [127], dass das Einsetzen der Multibandapparatur die subgingivalen mikrobiellen Zusammensetzung beeinflusst und dies sogar während der frühen Phase einer orthodontischen

Behandlung. Dabei erhöht sich die Prävalenz von Parodontopathien, vor allem im Molarenbereich. Attin et al. [13] haben in ihrer Untersuchung bewiesen, dass das Einsetzen von festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen sowohl bei Bändern als auch bei Brackets sogar nach Behandlung mit 40%igem CHX-Lack die Verbreitung von *Streptococcus mutans* begünstigt. In Deutschland werden zirka 50 % der Kinder und Jugendlichen eines Jahrganges kieferorthopädisch behandelt [101]. Während der Multibracketbehandlung erhöht sich das Risiko von Karies [119] und Parodontopathien [71] aufgrund der vielen Stellen, an denen sich Nahrungsreste sammeln. Die Ansammlung von Nahrungsresten und Plaque bewirkt einen verlängerten Säureangriff auf den Zahnschmelz und in der Folge eine Schmelzdemineralisation [161]. Kinder bekommen eine Multibracketapparatur oftmals in einem Alter, in dem ihre Geschicklichkeit ungenügend ist, um ihre Zähne selbstständig ausreichend zu reinigen [88]. Kuklevaet al. [137] zeigten, dass das Demineralisationsrisiko bei Multibracketpatienten im Alter von 11 bis 15 Jahren signifikant höher ist als bei 19- bis 24-jährigen Multibracketpatienten. 52 % aller bukkalen Flächen der jüngeren Gruppe zeigten Demineralisationen, in der älteren Gruppe waren es nur 7 %. Grundsätzlich wird mit der Multibracketbehandlung angefangen, wenn alle bleibenden Zähne durchgebrochen sind. Es gibt aber Situationen, wo man früher mit der Multibracketbehandlung beginnen muss, wie zum Beispiel bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten [94], bei denen auch noch Milchzähne vorhanden sein können. Welchen Schaden PWS-Geräte auf Zahnschmelz bleibender Zähne haben, wurde vielfach in der Literatur beschrieben [116, 169, 219]. Aber zur Wirkung der PWS auf Milchzähne, dem Hauptuntersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist, gibt es nur eine Studie [107].

3.2 Grundlagen eines Prophylaxekonzeptes

Zähne lebenslang zu haben, ist kein unerfüllbarer Wunschtraum, sondern lässt sich durchaus erreichen. Heute wissen wir, dass durch eine gute häusliche Mundhygiene mit fluoridierten Zahnpasten, durch zahnbewusste Ernährung und durch professionelle Zahnreinigung in der Zahnarztpraxis Karies und Parodontopathien weitgehend vermieden werden können.

Die folgenden Maßnahmen lassen sich nach Hellwig als die vier wichtigen Säulen der Karies- und Parodontitisprophylaxe zusammenfassen [103]:

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

Albandar et al. [4] haben eine Studie zur Verbesserung der Plaqueelimination bei Jugendlichen durchgeführt. Eine Gruppe ihrer Probanden bekam ein Prophylaxe-Training mit Erklärungen zu den Ursachen und der Vermeidung von Karies und Gingivitis sowie Demonstrationen zur Zahnpflege. Eine zweite Gruppe wurde lediglich in der richtigen Zahnputztechnik unterrichtet und die Kontrollgruppe erhielt keine Instruktionen. Die erhobenen Indizes der Jugendlichen mit dem ausführlichen Prophylaxe-Training waren signifikant besser als die der anderen beiden Gruppen, die sich wiederum untereinander nicht signifikant unterschieden. Somit ist für die Effektivität eines umfassenden Prophylaxe-Programms wichtig, die Ursachen zu erklären und zu instruieren.

3.2.1 Effiziente Mundhygiene

Der Zusammenhang zwischen regelmäßiger Mundhygiene und der Prävention von Gingivitis und Parodontitis gilt seit langem als erwiesen [6, 18, 26, 115, 205]. Die orale Gesundheit wirkt sich positiv auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität und die allgemeine Zufriedenheit aus [81, 172]. Die Gesellschaft legt auf schöne, gesunde Zähne großen Wert. Die damit verbundene Ästhetik gilt als sehr erstrebenswert [124].

3.2.1.1 Das Entstehen von Zahnbelägen

Plaque (Biofilm), Zahnstein, Konkremente, Nahrungsmittelauflagerung und *Materia alba* sind Bezeichnungen für Belag, der auf Zähnen zu finden ist [135]. Auf einer gesäuberten Zahnoberfläche bildet sich innerhalb von Sekunden das Schmelzpellikel aus organischen Bestandteilen des Speichels. Innerhalb von 4 Stunden lagern sich auf dem Pellikel kugelförmige Bakterien (Streptokokken) an. Bei gutem Substratangebot für die Bakterien vermehren sich diese und bilden kleine Kolonien. Bis zum zweiten Tag vergrößern sich die Bakterienkolonien. Andere Mikroorganismen aus dem Speichel (stäbchen- und weitere kugelförmige Bakterien) treten hinzu. Die Anheftung an den Schmelz wird immer stabiler und speziell *Streptococcus mutans* bildet zelluläre Polysaccharide, die Grundsubstanz der Plaque sind. Vom zweiten bis zum vierten Tag verdickt sich die Plaque und weitere Bakterienarten siedeln sich in der Plaque an, vor

allem Filamente. Ab dem fünften Tag befinden sich spiralförmige Bakterien in der Plaque und ab dem siebten Tag spricht man von einer reifen Plaque [30, 211].

Zahnstein entsteht im weiteren Verlauf durch Einlagerung anorganischer Substanzen (Mineralien) in die Plaque [254]. Zahnsteinbildung findet man gehäuft an den Lingualflächen der Unterkieferfrontzähne und an den Bukkalflächen der Oberkiefermolaren, also in der Nähe der Ausführungsgänge der großen Speicheldrüsen [179]. Konkrementen sind subgingivaler Zahnstein. Sie sind rot bis schwarz, härter als Zahnstein und haften fester am Zahn [254]. Die Materia alba besteht aus einer Mischung von Bakterien, Epithel- und Speiseresten, aus Protein-Polysaccharidschichten, die wiederum eine gute Retention für weiche Beläge und Farbstoffe bilden. Sie ist weich und abspülbar [114].

3.2.1.2 Methoden der Belagentfernung

Zum Entfernen von Belägen stehen dem Zahnarzt verschiedene Methoden zur Verfügung. Von besonderem Interesse bei deren Anwendung sind die Effizienz und der zur Belagentfernung benötigte Zeitaufwand unter Berücksichtigung der klinischen Wirkung, wie zum Beispiel Abrasion und Oberflächenveränderung der Zahnhartsubstanz [147].

Mechanische Belagreduktion

Die mechanische Plaquekontrolle ist die wichtigste Form der Mundhygiene [215]. Bezüglich der Ätiologie marginaler Parodontopathien [239] und kariöser Läsionen [125] kommt der auf der Zahnoberfläche anhaftenden mikrobiellen Plaque eine entscheidende Bedeutung zu, weil deren Stoffwechselprodukte zu Demineralisationen der Zahnhartsubstanzen und Entzündungen der Gingiva führen [248].

Kein Zahnarzt, keine Prophylaxehelferin kann so viel für die langfristige Gesunderhaltung der Zähne und des Zahnhalteapparates der Patienten tun, wie die Patienten selbst, indem sie eine regelmäßige und effektive häusliche Mundhygiene durchführen [229]. Zahnbürste, Zahnpasta und Zahnseide bilden die Grundlage einer erfolgreichen häuslichen Mundhygiene. Dadurch ist es normalerweise möglich, den größten Teil der Plaque zu entfernen [52]. Die mechanische Entfernung von Belägen mit einer Zahnbürste gilt als einfachste und effizienteste Methode der Plaquekontrolle [57]. Klinische Erfahrungen zeigen jedoch, dass das Zähneputzen nur selten zu Plaquefreiheit führt. Als Hauptursache wird eine zu kurze Putzdauer diskutiert [150].

Sowohl für manuelle als auch elektrische Bürsten konnte nachgewiesen werden, dass die Plaquereduktion mit zunehmender Reinigungsdauer ansteigt [150]. 75 % der Deutschen putzen laut einer bundesweiten repräsentativen Studie ihre Zähne weniger als zweimal bzw. kürzer als 90 Sekunden täglich [25]. Zähnebürsten führt nicht automatisch zu saubereren Zähnen, zumal bestimmte Areale, wie die approximalen Flächen und der Fissurenboden, kaum zu erreichen sind [3]. In den Zahnzwischenräumen bedarf es anderer Hilfsmittel wie Zahnseide, die bis zu 80 % der approximalen Plaque entfernen kann [251]. Neue einfachere Zahnseidehalter (wie z. B. TePe Mini Flosser™) können sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen eingesetzt werden [69]. Insbesondere empfiehlt er sich für die Eltern, die bei ihren Kindern Zahnseide anwenden sollen [135]. Etliche Autoren fanden bei Jugendlichen beziehungsweise Kindern einen hochsignifikanten positiven Einfluss der Häufigkeit des Zähneputzens auf den Kariesbefall [49, 50, 174].

Gute häusliche Mundhygiene bei Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Geräten reicht als alleinige Maßnahmen nicht aus [28]. Hartnäckige Ablagerungen und bakterielle Beläge an schwer zugänglichen Zahnflächen erfordern professionelle Zahnreinigung in der zahnärztlichen Praxis. Neben den herkömmlichen, zeitraubenden Handinstrumenten, wie Scaler und Küretten, wurden maschinenbetriebene Ultraschallscaler [265] sowie Pulver-Wasser-Strahlgeräte [256] entwickelt, die eine wesentlich schnellere Entfernung der Beläge und Verfärbungen im Rahmen einer professionellen Zahnreinigung ermöglichen [39, 47, 87, 107, 121].

Ultraschallgeräte wurden 1955 von Zinner [265] in die Zahnheilkunde eingeführt und werden zur Entfernung von harten, fest haftenden Belägen eingesetzt [235]. Sie ermöglichen eine schnellere Zahnreinigung als Handinstrumente [70]. Ultraschallscaler können allerdings die Zahnoberfläche verändern. Besonders ein falscher Anstellwinkel der Arbeitsspitze und ein starker Anpressdruck bewirken eine mechanische Schädigung der Zahnhartgewebe [64].

Zu einer gründlichen, effektiven Reinigung der Zahnoberfläche bieten sich Pulver-Wasser-Strahlgeräte als Alternative zu den oben beschriebenen Verfahren an. Sie gelten als schnellste Methode zur Belagentfernung [107, 121, 252]. Das Entfernen weicher Beläge und Verfärbungen erfolgt traditionell durch Handinstrumente (Küretten, Scaler) und die Politur der Zahnoberfläche mit Polierpasten und rotierenden Gumminäpfen bzw. Bürsten [215].

Eine ideale Reinigungspaste sollte gleichzeitig reinigen und polieren [145]. Die Forderung nach einer guten Reinigungseffizienz und gleichzeitiger Oberflächenglättung lässt sich mit den bis heute bekannten Putzkörpern jedoch nicht umfassend erfüllen. Korrekterweise müssen deshalb im Rahmen der professionellen Zahnreinigung stets mindestens zwei Pasten benutzt werden, eine zur Reinigung und eine zur Politur [206]. Die messbaren Abrasionswerte für Polierpasten ändern sich stark mit der Applikationsart. So stellte zum Beispiel Nedwed 2003 [169] einen höheren Schmelzverlust bei Verwendung von Bürstchen statt Gumminäpfen fest.

Zur professionellen Zahnreinigung wird oft Cleanic[®] verwendet. Diese Paste besitzt ein sich selbst vermindertes Abrasionsverhalten, denn sein Schleifkörper Perlit verwandelt sich schon nach Sekunden unter dem Anpressdruck eines Gumminapfes oder eines Bürstchens von grob- zu feinkörnig. Die zerbrechlichen Kristallplättchen des natürlichen Abrasivstoffs Perlit (Vulkanglas; Anteil zirka 50 %) werden bei Belastung zerkleinert und abgerundet; zudem richten sich die abrasiven Partikel mit ihren schneidenden Kanten parallel zur Oberfläche aus. Daher muss nach jeweils ein bis zwei Zähnen eine neue Portion Paste verwendet werden [146]. Lutz et al. konnten bei Cleanic[®] eine gute Reinigungsfähigkeit mit resultierender niedriger Oberflächenrauigkeit sowohl mit Bürstchen als auch mit Gummipolierern nachweisen [144].

Eine von der American Dental Assoziation anerkannte Messmethode zur Bestimmung der Abrasivität von Zahn- und Polierpasten sind der REA (**R**adioactive **E**namel **A**brasion)-Wert und der RDA (**R**adioactive **D**entin **A**brasion)-Wert. Gemessen wird die Menge des durch eine Zahnputzmaschine abgetragenen und zuvor radioaktiv markierten Schmelzes [21]. Für Kinder sind Prophylaxepasten zu empfehlen, deren REA-Wert zwischen 2 und 4 und deren RDA-Wert zwischen 8 und 125 liegt. Ähnliches gilt im Übrigen auch für Zahnpasten, für die eher noch geringere Werte angesetzt werden sollten [101].

Chemische Plaquerreduktion

Einem großen Teil der Patienten gelingt es nicht, über längere Zeiträume eine zur Verhütung von Karies und Gingivitis notwendige mechanische Mundhygiene auszuüben. Aus diesem Grund wird versucht, durch eine chemische Plaquekontrolle die mechanische Mundhygiene zu unterstützen [58]. Von Substanzen zur chemischen

Plauekontrolle wird erwartet, dass sie in der Mundhöhle gezielt wirksam sind, ohne starke Nebenwirkungen aufzuweisen [215].

Eine ideale Substanz zur chemischen Plauekontrolle scheint bislang nicht gefunden [215]. Die am meisten verwendeten Substanzen zur chemischen Plauekontrolle sind [40, 155, 171, 215, 238]:

1. Zinnfluorid und Zinnfluorid in Kombination mit Aminfluorid (Meridol®) [155]
2. Phenolische Substanzen (Triclosan®) [40]
3. Sanguinarin [238]
4. Listerine [171]
5. Chlorhexidindigluconat, CHX [215]

Die stärkste Plaue hemmende Wirkung haben Chlorhexidin-Präparate [165]. Aufgrund seiner sehr guten antibakteriellen Wirkung wird Chlorhexidin als Goldstandard der kurzzeitigen chemischen Plauekontrolle angesehen [215]. CHX bindet an die oralen Weichgewebe wie auch an die Zahnoberflächen und entfaltet dort – in Abhängigkeit von der Konzentration – sowohl Plaue- und Gingivitis- als auch Karies hemmende Effekte [165]. Untersuchungen konnten zeigen, dass die antimikrobielle Wirkung sechs bis acht Stunden anhält [38]. Chlorhexidin gibt es als Spüllösung, als Lack und als Gel für die Verwendung mit Medikamententrägern sowie zum Einbürsten [215].

Eine Inaktivierung des Chlorhexidins (Kation) kann durch Fluorid (Anion) und/oder durch Natriumlaurylsulfat (in ca. 75 % aller in Deutschland verkauften Zahnpasten enthalten) eintreten. Für die klinische Praxis resultiert daraus eine mindestens halbstündige Wartezeit z. B. zwischen dem Zähneputzen mit fluoridhaltiger Zahnpasta und einer CHX-Spülung [126]. Chlorhexidin sollte aber wegen möglicher Nebenwirkungen nur für kurze Zeit (maximal 14 Tage) eingesetzt werden [85].

3.2.2 Regelmäßige Fluoridierung

Fluorid kann einerseits systemisch über Trinkwasserfluoridierung, Salzfluoridierung, Tablettenfluoridierung oder Milchfluoridierung appliziert werden. Andererseits sind individuelle lokale Applikationen durch fluoridierte Zahnpasten, Fluoridspüllösungen, Fluoridgele oder -lacke effektiv. Die Wirkung von Fluoriden basiert auf drei Mechanismen [78]:

- a) Inhibition des Metabolismus der Bakterien,
- b) Inhibition der Demineralisation durch Säure,
- c) Verstärkung der Remineralisation des Schmelzes.

Die Trinkwasserfluoridierung hat sich als sehr effektiv für die Prävention von Karies sowohl der Milchzähne als auch der bleibenden Zähne erwiesen [11]. Die optimale Konzentration liegt zwischen 0,7 und 1,2 ppm (ca. 1 mg/l Wasser) [46]. Die Reduktion der Karies in einer Bevölkerung mit höherer Kariesaktivität durch diese Maßnahme beträgt 40-50 % im Milchgebiss und 50-60 % an den bleibenden Zähnen [108].

Eine Fluoridierung mittels Tabletten sollte nur vorgenommen werden, wenn der Fluoridgehalt des Trinkwassers unter 0,3 mg/l liegt. Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) hat im Jahr 2013 in der Leitlinie zu Fluoridierungsmaßnahmen zur Kariesprophylaxe zusammengefasst, dass Fluoridtabletten zur Kariesprävention wirksam sind, wenn sie als Lokalfluoridierung in Form von Lutsch- oder Kautabletten angewendet werden und sie sollten bei Kindern unter 6 Jahren nicht ohne Fluoridanamnese verschrieben werden [68]. Bis zum Erreichen einer regelmäßigen Fluoridexposition in angemessener Menge durch relevante Verzehrsmengen fluoridangereicherter Speisesalzes und durch fluoridierte Zahnpasta wird im Säuglings- und Kleinkindalter die tägliche Zufuhr eines Fluoridsupplementes empfohlen. Die empfohlene Tagesdosis für Kinder ohne weitere relevante Fluoridquellen zeigt Tabelle 1 [61].

Für das Milchgebiss ist die Datenlage zur kariespräventiven Wirkung von Fluoridtabletten überzeugender als für das bleibende Gebiss. Eine Fluoridtabletteneinnahme in der Schwangerschaft wirkt nur für die Mutter kariespräventiv. Für das Ungeborene konnte im Milchgebiss kein kariespräventiver Effekt nachgewiesen werden [61].

Alter (Jahre)	Fluorid (mg/Tag)
0 bis unter 2	0,25
2 bis unter 4	0,5
4 bis unter 6	0,75
ab 6	1,0

Tab. 1: Empfohlene Tagesdosis der Fluoridsupplementierung für Kinder ohne weitere relevante Fluoridquellen und bei einem Fluoridgehalt im Trinkwasser bis zu 0,3 mg/L

Das Zähneputzen mit fluoridierten Zahnpasten ist die am häufigsten verifizierte Präventionsmaßnahme der Prophylaxe [264]. Twetman et al. [246] kommen in ihrer Übersicht von Publikationen zwischen 1966 und 2003 durch tägliches Zähneputzen mit einer fluoridhaltigen Zahnpasta auf eine Kariesreduktion um 24,9 % für bleibende

Zähne gegenüber einer Placebo-Zahnpasta. Zimmer [264] gibt sogar eine Hemmung des Karieszuwachses von ca. 50 % durch tägliches überwachtes Zähneputzen mit einer fluoridhaltigen Zahnpasta im Gegensatz zu einer nicht kontrollierten häuslichen Zahnpflege an. Eine rezente Cochrane-Metaanalyse zeigt bei Schulkindern und Jugendlichen bis zum Alter von 16 Jahren eine kariespräventive Wirkung der regelmäßigen Anwendung fluoridierter Zahnpasta mit einem Fluoridgehalt von 1000 bis 1250 ppm (mittlere Kariesreduktion 23 %) und mit einem Fluoridgehalt von 2400 bis 2800 ppm (mittlere Kariesreduktion 36 %), während Zahnpasten mit einem Fluoridgehalt von 440 bis 550 ppm keine Kariesreduktion zeigen [250].

Fluoridspüllösungen erzielen gute Effekte bei Kindern, die in Gebieten wohnen, in denen keine optimale Fluoridkonzentration im Trinkwasser vorliegt [192]. Solche Lösungen werden auch bei Kindern mit kieferorthopädischen Geräten empfohlen sowie bei Patienten mit einer verminderten Speichelproduktion [231]. Benson et al. [27] kommen in einem systematischen Review der Cochrane Collaboration aus dem Jahre 2008 zu dem Ergebnis, dass die tägliche Anwendung einer 0,05 % Natriumfluoridspüllösung zu einer Reduktion des Schweregrades von initialen „White-spot“-Läsionen bei festsitzenden kieferorthopädischen Geräten führt. Sköld et al. [162] stellten in einer randomisierten, kontrollierten Studie bei Kindern und Jugendlichen mit geringem und moderatem Kariesrisiko fest, dass die Verwendung einer 0,2 %igen fluoridhaltigen Mundspüllösung unter Aufsicht in der Schule, zusätzlich zum täglichen Gebrauch einer fluoridhaltigen Zahnpasta, die Kariesinzidenz im approximalen Bereich bis zu 59 % verringert. An amerikanischen Schulen wurde durch Prophylaxe-Programme mit Anwendung von Fluoridspüllösungen eine Kariesreduktion um bis zu 20 % erzielt. Solche Spülungen sollten nicht bei Kindern benutzt werden, die jünger als 6 Jahre sind [46]. Nach der Stellungnahme der DGZMK (Stand 2013) [68] führt die tägliche überwachte Anwendung von Mundspüllösungen (in einer Konzentration von 0,05 % NaF) beziehungsweise die einmal wöchentliche überwachte Anwendung einer Mundspüllösung (0,2 % NaF) unabhängig von der Anwendung anderer fluoridhaltiger Präparate – wie zum Beispiel Zahnpasten – bei Kindern und Jugendlichen mit erhöhtem Kariesrisiko zu einer deutlichen Reduktion des Kariesanstiegs. Kinder unter 6 Jahren sollten keine fluoridhaltigen Mundspüllösungen verwenden, um zu vermeiden, dass toxikologisch relevante Fluoridmengen verschluckt werden.

Fluoridgele enthalten mindestens 1 % Fluorid und damit eine zehnfach höhere Fluoridmenge als fluoridhaltige Zahnpasten für Erwachsene [108]. In Deutschland

enthalten die verfügbaren Gelees 1,25 % Fluorid (Elmex gelee[®]/ GABA, Lörrach) und werden vor allem zur wöchentlichen häuslichen Anwendung bei erhöhtem Kariesrisiko empfohlen, wobei ein Verschlucken vermieden werden soll [14]. Marinho et al. geben in der Cochrane Database die eindeutige karieshemmende Wirkung von Fluoridgelees mit 28 % an [149].

Der erste Fluoridlack wurde in Europa im Jahr 1964 von Schmidt [218] unter dem Namen (Duraphat[®]) mit einer Fluoridkonzentration von 2,26 Gew.-% NaF eingeführt. Ein zweiter Lack mit dem Namen Fluor Protector[®] (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) mit 0,1 % Fluorid in Form einer Silanfluoridverbindung wurde im Jahr 1975 auf den Markt gebracht [9]. Über die Effektivität von Fluoridlacken gibt es mehrere Übersichtsarbeiten und Metaanalysen [149, 193]. Am häufigsten wurde Duraphat[®] auf seine karieshemmende Wirkung untersucht. Die Cochrane-Übersicht von Marinho et al. [149] gibt eine kariesreduzierende Wirkung von 46 % für bleibende Zähne und von 33 % für Milchzähne an. Petersson et al. [193] nennen in ihrer Übersicht von Publikationen der Jahre 1966 bis 2003 eine Kariesreduktion von 30 % für bleibende Zähne.

Damit es zu keiner Fluorid-Überdosierung beim Kind kommt, ist eine individuelle Fluoridanamnese durch den Zahnarzt unabdingbar. Dabei sollen Parameter wie Trinkwasser, Mineralwasser, Kochsalz, Zahnputzverhalten, Fluoridwerte der Zahnpasta erhoben werden [198]. Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde empfiehlt in Übereinstimmung mit zahlreichen anderen internationalen zahnmedizinischen Fachgesellschaften die Anwendung einer geringen Menge („dünner Film“) fluoridhaltige Kinderzahnpasta (500 ppm Fluorid) zur Zahnpflege ab Durchbruch der ersten Milchzähne einmal am Tag. Ab dem 2. Geburtstag sollte zweimal täglich mit einer geringen Menge („erbsengroße Menge“) fluoridhaltiger Kinderzahnpasta geputzt werden. Nach Durchbruch der ersten bleibenden Zähne sollte zweimal täglich eine Erwachsenenzahnpasta (> 1000 ppm Fluorid) verwendet werden [68].

3.2.3 Zahngesunde Ernährung

Süßes ist beliebt und Kinder glauben oftmals darauf gar nicht verzichten zu können.

Es ist eine Tatsache, dass süße Produkte sowohl von Menschen als auch von Tieren als angenehm empfunden werden [53]. Eine Vorliebe für die Geschmacksempfindung süß scheint angeboren zu sein [159]. Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen

Zucker bzw. fermentierbaren Kohlenhydraten und Kariesinitiierung sind in der Literatur ausführlich abgehandelt [43].

Mono- und Disaccharide können von Plaquebakterien aufgenommen und zu Säuren abgebaut werden. Somit sind sämtliche Nahrungsmittel, die aus niedermolekularen Kohlenhydraten bestehen, potenziell kariogen [195]. Bei der Durchsetzung eines zahngesunden Ernährungsverhaltens geht es nicht darum, den Kindern ein generelles Zuckerverbot auszusprechen, sondern eine lange bzw. häufige Anwesenheit von Zucker in der Mundhöhle zu vermeiden. So hat sich in der Vipeholm-Studie [96] gezeigt, dass die Einnahme von 300 g Zucker pro Tag keine exzessiven Schäden an den Zähnen hinterlässt, solange dieser Zucker zu den Hauptmahlzeiten konsumiert wird. Die gleiche Menge Zucker führte jedoch zu erheblichen kariösen Läsionen, wenn sie über den ganzen Tag verteilt in Form von Zwischenmahlzeiten verzehrt wurde. Die Vipeholm-Ergebnisse wurden auch in den Turku-Zucker-Studien [213] und in der ungarischen WHO-Studie [212] bestätigt. Ersetzt man die Saccharose durch den nicht kariogenen Zuckeralkohol Xylitol, so bleiben Zahnschäden aus, da Mutans Streptokokken in ihrer Vermehrung gehemmt werden [225]. Eine langfristige Verwendung von Xylitol-haltigem Kaugummi kann das Wachstum von Mutans Streptokokken sowohl im Speichel als auch in Plaque, und Laktobazillen im Speichel reduzieren, sogar wenn Xylitol nur an Schultagen verwendet wird [148]. Xylitol-Kaugummi kann eine kariesprophylaktische Maßnahme für Kinder sein [17].

Rugg-Gunn et al. [207] sowie Burt et al. [42] fanden allerdings im Gegensatz zur Vipeholm-Studie, dass die Menge des Zuckers eine größere Rolle spielt als die Häufigkeit. Basierend auf den Daten der Studie von Burt et al. stellten Szpunar et al. [237] fest, dass jede zusätzliche tägliche Aufnahme von 5 g Zucker zu 1 % Karieszunahme innerhalb von 3 Jahren führte.

3.2.4 Fissurenversiegelung

Fissuren und Grübchen sind Prädilektionsstellen für das Entstehen von Karies [36]. Aufgrund der komplexen Anatomie und der damit verbundenen erschwerten Zugänglichkeit für präventive Maßnahmen liegt die Kariesprävalenz in den Fissurensystemen der Molaren bei 12- bis 14-jährigen Schülern in der Schweiz bei 80 % [230]. Obwohl okklusale Zahnflächen nur 12,5 % der gesamten Zahnoberflächen ausmachen, entstehen 50 % bis 54 % aller kariösen Defekte bei Schulkindern in diesem Bereich [98].

Ein enges, tiefes Fissurensystem bietet Plaque und Nahrungsresten eine besonders gute Retention. Insbesondere bei Zähnen mit einer derartigen Morphologie ist eine Fissurenversiegelung indiziert. Die Fissurenversiegelung stellt eine präventive Maßnahme dar, die das Entstehen von Karies in Fissuren und Grübchen verhindern kann [95]. Eine prophylaktische Fissurenversiegelung ist bei einem hohen allgemeinen Kariesrisiko, z. B. bei Patienten mit einem bereits vorangegangenen Kariesbefall, Patienten mit kieferorthopädischen Apparaturen, bei Kindern und Jugendlichen mit bestimmten Allgemeinerkrankungen bzw. Behinderungen indiziert [67, 135]. In diesem Zusammenhang kann bei hohem Kariesrisiko die zusätzliche Versiegelung von Milchmolaren, Prämolaren sowie Grübchen an oberen Front- und Eckzähnen angezeigt sein [104]. Wie verschiedene Studien zeigten, werden bei Kindern mit versiegelten Zähnen wesentlich niedrigere mittlere DMF-T-Werte registriert als bei Kindern ohne Fissurenversiegelungen [194, 244].

Für eine adäquate Retention der Versiegelungsmaterialien ist eine möglichst große Haftfläche notwendig. Durch Anätzen des Schmelzes kann die Oberfläche vergrößert und für das Harz retentiver gestaltet werden [41]. Voraussetzungen für gute klinische Resultate sind ein guter Randschluss der Versiegelung sowie ein möglichst wenig plaqueretentiver Übergang vom Versiegler zum Schmelz. Entscheidend für Randschluss und Haftung sind die präoperative Reinigung des Zahnes und eine perfekte Trockenlegung des Arbeitsfeldes während der Applikation des Versieglers [98].

Zur Verbesserung der Qualität von Fissurenversiegelungen in der Klinik können Pulver-Wasser-Strahlgeräte eingesetzt werden. Eine Pulver-Wasser-Bestrahlung erhöht die Verbundfestigkeit zwischen Versiegler und Schmelz und vermindert die Hohlräume unter Versiegelungen [128]. Pulver-Wasser-Strahlgeräte bewirken keine vollständige Reinigung bis in die tiefsten Stellen der Fissuren, aber andere Hilfsmittel, wie zum Beispiel rotierende Bürsten oder Gummipolierer mit Bimsstein, erzielen vergleichsweise schlechtere Resultate [128, 233].

3.3 Mikromorphologische Unterschiede des Schmelzes zwischen humanen Zähnen der 1. und 2. Dentition

Unterschiede in der Struktur der Zahnhartgewebe der 1. und 2. Dentition sind vor allem darin begründet, dass die Odontogenese eines Milchzahnes etwa ein Jahr dauert, während die permanenten Zähne vollständig in drei bis fünf Jahren gebildet werden.

Auf Grund der unterschiedlichen Entstehungsdauer gibt es, wenn auch geringe, qualitative und quantitative strukturelle Unterschiede, die sich auf die Kariesanfälligkeit der Dentitionen auswirken [222].

Der ausgereifte Zahnschmelz ist das am stärksten mineralisierte und härteste Zellprodukt im menschlichen Körper [221]. Seine Zusammensetzung und Eigenschaften unterscheiden sich deutlich von denen des Dentins, des Wurzelzementes und des Knochens [199]. Die organische Matrix besteht vorwiegend aus löslichen und unlöslichen Proteinen sowie wenig Kohlenhydrat- und Lipidanteilen [199]. Der kristalline Anteil des Schmelzes besteht vorwiegend aus Kalzium und Phosphor mit geringen Anteilen von Natrium, Magnesium, Chlor und Kalium. Bei den Milchzähnen ist der Anteil von Kalzium (35,1 %) und Phosphor (17,2 %) geringer als bei den bleibenden Zähnen (52,5 % Ca, 21,2 % P) [65]. Mittels Röntgendiffraktionsanalysen konnte gezeigt werden, dass das Schmelzmineral im Allgemeinen als Hydroxylapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ vorliegt, dessen Hydroxylgruppen durch Fluoridionen oder Chloridionen substituiert werden können [199]. Der Mineralgehalt liegt bei 92 Gewichtsprozent für Zähne der 1. Dentition und 98 Gewichtsprozent für permanente Zähne [104]. Untersuchungen der Vickershärte zeigten für Zähne der zweiten Dentition Werte zwischen 319 und 348, für Milchzähne ergaben sich jedoch geringere Werte im Bereich von 284 bis 324 VHN [100]. Wilson und Beynon [258] verglichen den Mineralisationsgrad von permanentem und Milchzahnschmelz der Schneidezähne und zeigten, dass beide Dentitionen eine ähnliche von inzisal nach zervikal abnehmende Mineralisation aufweisen. Indes weist die äußere Schicht des permanenten Eckzahnschmelzes einen höheren Mineralisationsgehalt auf als die des Milcheckzahnes. Der abnehmende Mineralisationsgrad von okklusal nach zervikal konnte nicht an Milchmolaren festgestellt werden. Im Gegenteil, bei einzelnen Milchmolaren weist das zervikale Drittel sogar einen höheren Mineralisationsgrad auf [258].

Die Schmelzprismen sind die bestimmenden Strukturelemente des fertigen Schmelzes. Die Apatitkristalle des Zahnschmelzes weisen einen annähernd sechseckigen Querschnitt auf, haben einen Durchmesser von ungefähr 40 nm und sind etwa 160 nm lang. Rund 100 Schmelzkristalle liegen dicht gepackt, mehr oder weniger parallel und bilden die Schmelzprismen [104] (Abb. 2). Die Prismen verlaufen sowohl horizontal als auch vertikal wellenförmig von der Schmelz-Dentin-Grenze bis fast zur Schmelzoberfläche [104]. Die Zahl der Prismen pro mm^2 bei den Milchzähnen ist höher

als bei den bleibenden Zähnen und steigt von der Außenfläche in Richtung der Schmelzdentingrenze an. Abweichend von den bleibenden Zähnen, wo die Zahl der Prismen bei etwa 13.500 für die Außenfläche und 14.000 an der Schmelzdentingrenze liegt, ist die Zahl der Prismen für die Milchzähne größer und liegt bei zirka 14.000 für die Außenfläche und 15.000 an der Schmelzdentingrenze [65].

Ripa et al. [204] beschreiben prismenlose Bereiche an bleibenden wie auch an Milchzähnen. An allen Milch- und an 70 % der bleibenden Zähne fanden die Autoren eine etwa 30 µm dicke Schicht prismenfreien Schmelzes an der Oberfläche. Diese Schicht ist härter, dichter mineralisiert und ergibt bei Säureätzung ein nur wenig retentives Ätzmuster. Bei in Funktion stehenden Zähnen findet sich dieser Schmelztyp aufgrund von Abrasionserscheinungen nur noch im zervikalen Kronenbereich.

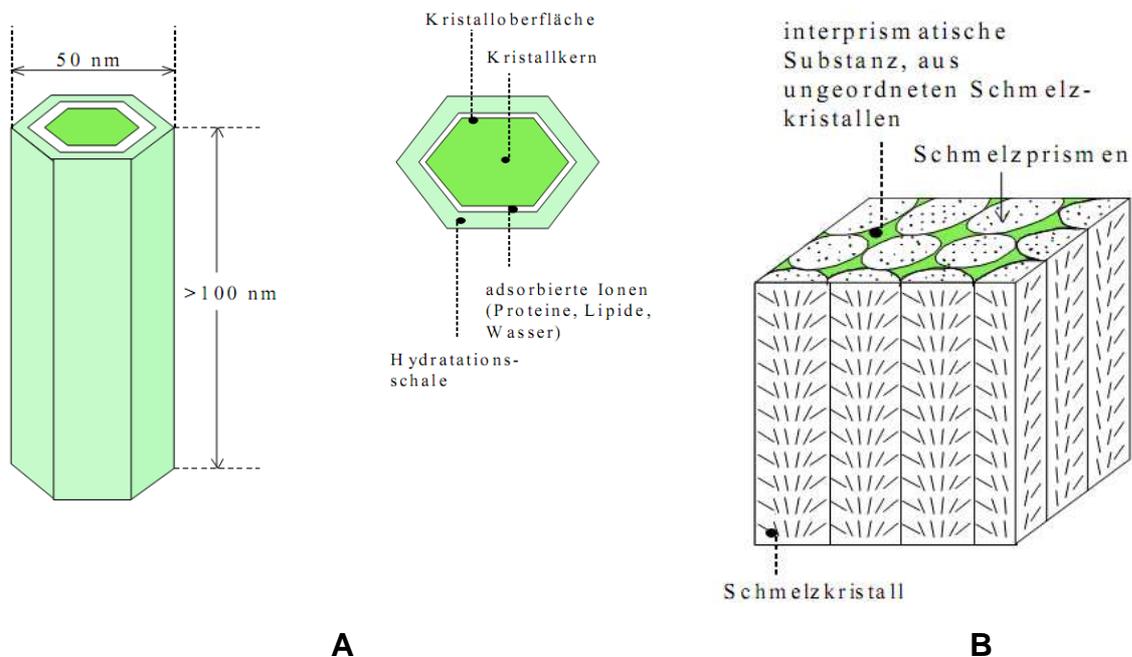


Abb. 2 a und b:

- Schematische Darstellung eines Hydroxylapatitkristalls [173]
- Ausrichtung der Schmelzkristalle innerhalb der Schmelzprismen [104]

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des deutschen Ärzte-Verlages

Die Kariesinitiation und -progression wird mit dem Karbonatgehalt des Schmelzes in Zusammenhang gebracht [79]. Der Gesamt-Karbonatgehalt ist im Milchzahnschmelz deutlich höher, sodass die schnellere Kariesprogression im Milchzahn damit nach Auffassung von Sønju Clasen und Ruyter korreliert [227], denn die Apatitlöslichkeit steigt mit dem Karbonatgehalt [60]. Die Durchschnittsdicke des Zahnschmelzes beträgt 1,14 mm für Zähne der 1. Dentition und 2,58 mm für permanente Zähne [65].

Das Milchzahnschmelzpellikel enthält signifikant mehr Serine und Glyzine als das Pellikel bleibender Zähne und wird initial langsamer gebildet, ist dünner und hat keine globulären Strukturen. Das Milchzahnpellikel bietet daher weniger Schutz vor Demineralisationen [226].

Das im Schmelz enthaltene Wasser ist vorwiegend in Form einer Hydratationsschale an die Apatitkristalle gebunden, der Rest liegt in der organischen Matrix vor, die hauptsächlich aus Proteinen, Kohlenhydraten und Lipiden besteht. Es gibt auch Unterschiede im Wassergehalt, der für Permeabilität, Ionenaustausch, Elastizität und Reaktivität des Schmelzes verantwortlich ist. Der freie Wassergehalt beträgt bei permanenten Zähnen zirka 1 %; beim Milchzahn beträgt er etwa 3 %, sodass der Milchzahnschmelz eine größere Permeabilität aufweist [37]. Die mikromorphologischen Unterschiede im Schmelz von Zähnen der 1. und 2. Dentition sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

	Milchzahn	Permanenter Zahn
Odontogenese [222]	1 Jahr	3-5 Jahre
Mineralgehalt [104]	92 %	98 %
Ca-Gehalt [65]	35,11 %	52,50 %
P-Gehalt [65]	17,23 %	21,19 %
Dicke des Schmelzes [65]	1,14 mm	2,58 mm
Prismenlose Schicht [204]	Alle Zähne	70 % der Zähne
Wassergehalt [37]	3 %	1 %
Prismenzahl an der Oberfläche Schmelz-dentingrenze [65]	14149 ± 1009 15244 ± 648	13582 ± 600 14010 ± 391
Vickers Härte [100]	284-324VHN	319-348 VHN

Tab. 2: Mikromorphologische Unterschiede im Schmelz von Zähnen der 1. und 2. Dentition

3.4 Mikromorphologische Unterschiede des Schmelzes boviner und humaner Zähne

Es wird aufgrund der zunehmenden Fortschritte in der präventiven Zahnheilkunde immer schwieriger, nicht kariöse, gesunde, extrahierte menschliche Zähne zu erhalten [8]. Rinderzahnschmelz stellt eine gute Alternative für humanen Zahnschmelz dar, um

Schmelzprobenkörper für experimentelle Studien herzustellen [77]. Außerdem ermöglicht die größere Fläche der bovinen Unterkieferfrontzähne größere Proben [153]. Rinderzahnschmelz hat eine einheitliche Zusammensetzung [153], sein Kalziumgehalt ist äquivalent zu dem von menschlichem Zahnschmelz und zeigt eine ähnliche, graduelle Abnahme von der Oberfläche bis zur Schmelz-Dentin-Grenze [62]. Boviner Zahnschmelz ist vergleichbar mit humanem Zahnschmelz in Bezug auf die chemische Zusammensetzung, die Dichte (2,9 g/cm³ für bovinen Zahnschmelz und 2,2 g/cm³ für humanen Zahnschmelz), die Wärmekapazität (0,8 J/g K für beide). Wohingegen die Biegefestigkeit (69,9 MPa für bovinen Zahnschmelz und 10,3 MPa für humanen Zahnschmelz) und die Bruchzähigkeit (1,58 MPa.m^{1/2} für bovinen Zahnschmelz und 0,7-1,3 MPa.m^{1/2} für humanen Zahnschmelz) sich unterscheiden [77]. Eine Studie von Esser et al. [77] zeigt, dass die chemische Zusammensetzung des bovinen Zahnschmelzes ähnlich der des humanen Zahnschmelzes ist. Die Werte betragen für Kalzium 31,8 % (human 34,9 %), für Phosphat 15,5 % (human 16,8 %) und Magnesium 0,4 % (human 0,2 %). Die Vickershärtebestimmung ergab, dass der bovine Zahnschmelz (221,1 ± 15,2 VHN) analog zur Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit härter ist als der humane Zahnschmelz (169,3 ± 40,5 VHN). Sauter [210] fand in seiner Doktorarbeit keinen Unterschied in der Knoop-Härte zwischen bovinem Zahnschmelz (300-386 KHN) und humanem Zahnschmelz (302-396 KHN). Dagegen zeigte die Studie von Reeh et al. [201], dass boviner Zahnschmelz (248 ± 53 KHN) weicher ist als menschlicher Zahnschmelz (317 ± 42 KHN).

Allerdings unterscheiden sich boviner und menschlicher Zahnschmelz in einigen Aspekten: Kristallite von bovinem Schmelz sind 1,7 mal dicker [8] und Rinderzahnschmelz hat eine breitere interprismatische Region [72]. Featherstone und Mellberg [80] zeigten, dass Läsionen in Rinderzahnschmelz dreimal so schnell fortschreiten wie in humanem Zahnschmelz. Dementsprechend sind Erosionen im Rinderzahnschmelz deutlich ausgeprägter als in humanem Zahnschmelz [156]. Und laut Mellberg und Loertscher [154] ist die Fluoridkonzentration bovinen Zahnschmelzes (204 ± 104 ppm) geringer ist, als die Fluoridkonzentration humanen Zahnschmelzes (1326 ± 304 ppm).

3.5 Pulver-Wasser-Strahlgeräte in der Prophylaxe

3.5.1 Entwicklung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte

Schon 1945 beobachtete Black [33], dass herkömmliche rotierende Instrumente zu Angst und Furcht vor der Zahnbehandlung beitragen. Deswegen führte er in die Kavitätenpräparation einen Abrasivstrahler als Alternative zu rotierenden Instrumenten ein. Nach Black besteht ein Pulver-Strahlgerät aus einem Luftstrom mit Abrasivpulver. Das Abrasivpulver verlässt die Düse des Handstückes und trifft scharf gebündelt auf die zu behandelnde Oberfläche. Als Abrasivpulver wurde Aluminiumoxid verwendet. Es gilt gemeinhin mit einer Mohs-Härte von 9 nach dem Diamant als das zweithärteste Mineral und es ist stabil, ungiftig und preiswert. Als Abrasivträger (Luft) wurde Kohlendioxid verwendet [34]. Die präparativen Möglichkeiten (Schnittleistung) hängen ab vom Gasdruck (170 bis 585 kPa), der Art und Korngröße des Abrasivs (durchschnittliche Größe zumeist 30 μm), der Länge und dem Durchmesser der Düsenöffnung, dem Abstand sowie dem Winkel der Düsenöffnung zur Oberfläche [33, 34].

Black schlug vor, entweder einen geringeren Luftdruck oder einen weicheren Abrasivstoff (Bimsstein) zu benutzen, wenn man den Abrasivstrahler zum Entfernen festhaftender, verfärbter Beläge oder Zahnstein verwendet [33]. Zum Entfernen sowohl von grünen Belägen an Milchzähnen als auch supra- und subgingivalem Zahnstein an lingualen, labialen sowie teilweise an approximalen Flächen bleibender Zähne hat Epstein 1951 Dolomit (Magnesium-Kalzium-Karbonat) als Strahlmittel bei einem Gasdruck von zirka 275 kPa und einem Strahlwinkel von 45° und 30 mm Abstand verwendet [76]. Aber auch bei Verwendung von Dolomit kam es zu erheblichen Zahnhartsubstanz-verlusten sowie Oberflächenrauigkeiten, die eine Nachpolitur mittels Gummikelch und Bimsstein erforderlich machten. Aus diesem Grund konnten sich zum damaligen Zeitpunkt die Luft-Pulverstrahlgeräte zur Entfernung von Biofilmen nicht durchsetzen [255]. Auch Black [35] schränkte die Indikation in der Prophylaxe auf das Entfernen starker Zahnverfärbungen mit Unterstützung durch Scaler und eine nachfolgende Politur ein. Bailey und Philips beobachteten mit dem Aident[®]-Gerät und Dolomit als Strahlmittel einen größeren Schmelzabtrag als bei Verwendung eines Gummikelches mit Bimsstein, sofern die Düsenöffnung 10 bis 15 mm von der Zahnoberfläche gehalten wurde [19]. White und Peyton 1954 untersuchten die Wirkungen des Aident[®]-Abrasivstrahlers auf planpolierten Schmelzoberflächen und

stellten fest, dass der Anstellwinkel, der Abstand und die Applikationsdauer die Aufrauung der Schmelzoberfläche bestimmen [255]. Die groben Körner im Strahlmittel wurden für die Aufrauung verantwortlich gemacht. Ein Anstellwinkel von 60° bis 90° und ein Abstand von 15 mm zur Oberfläche mit einer Applikationsdauer von 1,5 s führte zu 25 µm Schmelzverlust. Demgegenüber betrug der Schmelzverlust bei einem Anstellwinkel von 45° nur 7 µm. Da der Airdent®-Abrasivestrahler eine große Menge Schmelz abtrug, wurde er von White und Peyton für einen routinemäßigen Einsatz als nicht indiziert angesehen [255].

Eine fortgesetzte Weiterentwicklung führte schließlich zu den heute sehr häufig eingesetzten Pulver-Wasser-Strahlgeräten (PWS), die nach einem ähnlichen Grundprinzip wie das von Black hergestellte Pulver-Strahlgerät arbeiten. Bei den Pulver-Wasser-Strahlgeräten Anwendung wird ein Gemisch aus Wasser, Luft und Pulver (Backpulver [NaHCO₃], Glyzin, Kalziumkarbonat [CaCO₃]) mit 400-800 kPa Richtung Zahnoberfläche beschleunigt [12, 23, 177].

Für die Abrasivität auf der Zahnoberfläche und die Effizienz bei der Entfernung von bakteriellem Biofilm und exogenen Zahnverfärbungen durch den Pulver-Wasser-Strahl stellen die Größe, Form und Härte der Abrasivpartikel, der Luftdruck sowie die Wassermenge wichtige Arbeitsparameter dar. Weiterhin wird die Effizienz bestimmt durch die Bestrahlungsdauer sowie den Bestrahlungsabstand [188]. Eine Vielzahl von Studien zeigt, dass die Effizienz der Plaque- und Verfärbungsentfernung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten Handinstrumenten oder rotierenden Poliersystemen überlegen oder mindestens vergleichbar ist [63, 105, 116, 132, 169, 180, 252, 259].

3.5.2 Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Zahnschmelz

Einige Autoren vertreten die Auffassung, dass das Anwenden eines Pulver-Wasser-Strahlgerätes auf gesundem Schmelz keine klinisch relevante Aufrauung zur Folge hat und somit nicht nachpoliert werden müsse [63, 90, 99, 107, 111, 147, 169, 219, 241]. Andere Literaturstellen berichten von einer hohen Aggressivität der Pulver-Wasser-Strahlgeräte sowohl gegenüber gesunden Zahnschmelzoberflächen [151, 256] als auch demineralisierten Zahnschmelzes [132, 147, 214, 219].

Im Jahre 1983 stellten Castagnola et al. [47] bei der Untersuchung der Reinigungswirkung des Prophy-Jet® an extrahierten Zähnen fest, dass es selbst nach dreiminütiger Expositionsdauer nur zu geringen Schmelzveränderungen im Rasterelektronenmikroskop kam, und dass – im Gegensatz zur konventionellen

Methode – beim Prophy-Jet[®]-Gerät weder makroskopische noch mikroskopische Spuren (Schmelzläsionen, Rillen, Streifen) auf der Schmelzoberfläche gefunden werden konnten. Bei Verwendung des Prophy-Jet[®]-Gerätes im Schmelzbereich stellten de Boever und Vande Velde [63] bei stärkerer Vergrößerung stellenweise dagegen eine Kraterbildung fest. Im Gegensatz zu Bürsten und abrasiven Polierpasten, die tiefe Rillen auf der Schmelzoberfläche verursachten, war die Oberfläche beim Prophy-Jet[®]-Verfahren im Allgemeinen wesentlich glatter (trotz lokaler Kraterbildung). Im selben Jahr verglich Mahlendorff in einer umfangreichen Untersuchung zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräte (Air-Flow[®] II und Prophy-Jet[®]; Strahldauer 120 s bei jeweils 75 % ihrer maximalen Pulvereinstellung) mit Ultraschall (Anwendungsdauer 30 s) und mit Gummikelch und Polierpaste (Oralust-Paste; Polierdauer 120 s). Mahlendorff warnte vor einer Anwendung auf bereits demineralisiertem Schmelz, da es hier zu starken Abrasionen kam. Insgesamt kam er zu dem Schluss, dass intakte Schmelzoberflächen nach der Anwendung eines Air-Flow[®]-II- oder Prophy-Jet[®]-Gerätes sowohl qualitativ als auch quantitativ weniger rau erscheinen als nach Verwendung von Ultraschall oder Gummikelchen mit Polierpasten. Nach PWS-Anwendung zeigten zuvor hochglanzpolierte Schmelzproben keinen signifikanten Schmelzabtrag. Dagegen führten die beiden konventionellen Methoden zu einer signifikanten Abrasion. Beim Vergleich der beiden Geräte fand Mahlendorff beim Air-Flow[®] II eine etwas geringe Abrasion als beim Prophy-Jet[®] [147]. Auch bei Banek-Himpler [20] zeigten sich bei der Verwendung des Air-Flow[®]-I-Gerätes bei 180 Patienten im Rasterelektronenmikroskop bei 500-facher Vergrößerung keine Schmelzschäden.

Gerbo et al. [90] simulierten an Rinderzähnen den Effekt eines 15-jährigen Recallprogramms und verglichen die Schmelzaufrauung nach PWS-Einsatz mit der Schmelzaufrauung durch ein konventionelles Verfahren (Gummikelch und Bimsstein) mittels Profilometer und Rasterelektronenmikroskop. Es wurde bei beiden Methoden keine signifikante Erhöhung der Schmelzrauheit festgestellt. Zu ähnlichen Ergebnissen kam Hügelmeyer [111] bei der Anwendung eines Air-Flow[®]-Gerätes für 10 bis 90 Sekunden. Dieses Gerät beeinflusste die Schmelzrauigkeit nicht mehr als Gummikelch, EVA-System oder Paro-Swing. Zudem hatte die Strahldauer (10 s oder 90 s) keinen Einfluss auf die resultierende Schmelzoberfläche.

Die Anwendung des Air-Flow[®]-I-Gerätes an extrahierten gesunden Zähnen wurde von Heiser und Pfaller untersucht [102]. Es wurden Bestrahlungszeiten von 5, 15 und 30 Sekunden gewählt. Dabei zeigten die bestrahlten Zähne rasterelektronenmikroskopisch

im Vergleich zu der unbestrahlten Kontrollhälfte eine intakte Schmelzoberfläche, selbst bei einer Strahldauer von 30 Sekunden waren keine Veränderungen festzustellen.

Suhsmann et al. beobachteten dagegen rasterelektronenmikroskopisch nach 30 s Air-Flow[®]-Anwendung (maximale Einstellung) auf Zahnschmelz nahe der Schmelz-Zement-Grenze kleine kraterförmige Aussprengungen. Eine Bestrahlung für 10 s bis 20 s zeigte aber keine sichtbaren Schmelzveränderungen [234]. Bei Anwendung eines Prophy-Jet[®] C-100 (Abstand: 5 mm; Winkel: 90°; Pulver: maximal; Wasser: mittel) fanden Galloway und Pashley bei einer Bestrahlungszeit von bis zu 60 s keine sichtbaren Schmelzveränderungen auf natürlichen gesunden Schmelzoberflächen [87]. Jost-Brinkmann [116] prüfte die Wirkung von vier verschiedenen PWS auf Rinderzähne, die 60 Sekunden mit unterschiedlichen Wasser- und Pulvereinstellungen bestrahlt wurden (Abstand: 5 ± 1 mm; Winkel: 90°). Das Clean-Jet[®]-Gerät führte bei allen Einstellungen am Schmelz zu einer größeren Rauheit als die Verwendung von Prophylaxepasten. Zudem führte das Clean-Jet[®] zu einem Schmelzabtrag von bis zu 0,1 mm/min. Die drei weiteren Geräte Air-Flow[®] S1, Prophy-Jet[®] und Prophy-Unit[®] erzeugten eine Rauheit, die geringer oder vergleichbar dem Effekt der zum Vergleich herangezogenen Prophylaxepasten (Cleanic[®], CCS[®] 250 und CCS[®] 170) war [116]. Nach Nedwed [169] hinterließ das PROPHYflex[®] 2 eine Rauheit, die signifikant kleiner war als die durch Bearbeitung mit Cleanic[®] und Bürste sowie etwa gleich groß wie die nach Cleanic[®]-Politur mittels Gummipolierer allerdings wesentlich höher war als die durch Politur mit einer feinen Polierpaste (CCS[®] 40) in Kombination mit einem Gummipolierer oder einer Bürste.

Willmann et al. [256] beschäftigten sich vergleichend mit den Wirkungen des Prophy-Jet[®]-Gerätes, von Gummikelchen und einem Ultraschallgerät auf Schmelzoberflächen. Bei 12 extrahierten menschlichen Zähnen wurden die vorpolierten Schmelzoberflächen nach 15 s Prophy-Jet[®]-Bestrahlung aus 1 cm Abstand visuell, lichtmikroskopisch, rasterelektronenmikroskopisch und profilometrisch bewertet. Alle Reinigungsmethoden veränderten die zuvor polierten Schmelzoberflächen. Beim Pulver-Wasser-Strahlgerät waren die Oberflächenrauigkeitswerte weitaus am größten, gefolgt vom Ultraschallgerät und einem Gummikelch mit Zirkonium Silikate ($ZrSiO_4$) als Paste, was die glattesten Oberflächen hinterließ.

Meier et al. [151] verglichen vier Polier- und Reinigungssysteme (rotierendes Bürstchen, rotierender Gummikelch, oszillierendes Sonobürstchen, Air-Flow[®] S211) bezüglich ihres Effekts auf Schmelzoberflächen. Die Bearbeitungszeit betrug 30 s. Die

Umdrehungszahl für das turbinenbetriebene Sonobürstchen lief bei maximaler Leistung und das rotierende Bürstchen und der rotierende Gummikelch wurden bei 8000 U/min angewendet. Der Arbeitsabstand beim Pulver-Wasser-Strahlgerät betrug 3 cm. Bei Sonobürstchen, rotierendem Bürstchen und Gummikelch wurde zuvor einmalig eine Prophylaxepaste (Proxylt RDA 36) appliziert. Die profilometrische Auswertung der bearbeiteten Oberflächen zeigte relativ geringe Rauigkeitswerte für Sonobürstchen, Gummikelch und Bürstchen. Dagegen verursachte das Pulver-Wasser-Strahlgerät im Vergleich zu den anderen Methoden signifikant höhere Rauigkeitswerte. Außerdem zeigte das Pulver-Wasser-Strahlgerät gegenüber den anderen Methoden einen 6- bis über 20-mal höheren Substanzverlust.

Eine Gefahr bei der Anwendung von PWS ist nach Schiffner [214] und Schulte [219], dass man Schmelz mit einer Initialkaries bearbeitet, die vor der Reinigung nicht sichtbar ist. Laut Schiffner kommt es bei der Bestrahlung von demineralisiertem Schmelz zu einem erheblichen Schmelzvolumenverlust [214]. Mit zunehmender Bestrahlungsdauer und Steigerung des Luftdrucks kam es zudem zu einer Erhöhung der Defektgröße. Dies entspricht den Ergebnissen von Kontturi-Närhi et al. [132]. Sie fanden bei der Bestrahlung von plaquebedecktem Schmelz eine größere Abrasion als bei plaquefreien Proben. Auch sie nahmen an, dass sich unter der Plaque demineralisierter Schmelz befand, der sich gegenüber der PWS-Bestrahlung weniger widerstandsfähig zeigte. Auch Boyde konnte nachweisen, dass kariöser Schmelz beim Einsatz von PWS sehr schnell abgetragen wurde, sogar schneller als das darunter liegende Dentin. Somit besteht seiner Meinung nach ein großer Zusammenhang zwischen Mineralisationsgrad und der Resistenz von Zahnhartsubstanzen gegenüber einer PWS-Bestrahlung [39].

3.5.3 Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Dentin und Wurzelzement

In Bezug auf Dentin und Wurzelzement stellt sich die Situation ganz anders dar als beim Schmelz. Dentin und Wurzelzement sind auf Grund ihres geringeren Mineralisationsgrades weicher als Schmelz und zeigen deshalb bei der Anwendung von PWS eine erheblich geringere Resistenz gegen Abrasion [2, 12, 29, 31, 63, 87, 105, 116, 241].

Im Jahr 1984 wiesen Atkinson et al. bei einer 30-sekündigen Bestrahlung mit einem Prophy-Jet®-Gerät und Natriumbikarbonat als Strahlmittel (Abstand 4 mm, Winkel 90°) einen Abtrag von 636,6 µm Wurzeloberfläche nach [12]. Drei Jahre danach stellten

Galloway und Pashley fest [87], dass innerhalb von 30 Sekunden mit einem Prophy-Jet[®]-Gerät (Abstand 5 mm, Winkel 90°) gar eine Abrasion von 1.200 µm Zement eintrat. Einen Wurzelzement- und Dentinabtrag von sogar 1.394 µm ermittelten mit dem Air-Flow[®]-Gerät nach 60 Sekunden Bestrahlung Yanagimura et al. [262]. Die Wurzeloberfläche nach der Pulver-Wasser-Strahl-Behandlung war glatt und wies eine vergleichbare Oberfläche wie nach einer konventionellen Anwendung von Küretten auf [262]. Bei der Bestrahlung zervikal liegender Zementoberflächen bei einem Abstand 5 mm fand Boyde [39] bei einer kontinuierlichen Bewegung des Handstücks einen Abtrag von 160 µm/min. Somit entfernt eine Bestrahlung die Zementoberfläche schon nach kurzer Zeit vollständig. Aus diesem Grunde empfiehlt Boyde den Einsatz dieser Geräte im Rahmen der Zahnreinigung nur oberhalb der zervikalen Grenze und auf gesunden Schmelzoberflächen. Bester et al. [31] bestätigten, dass schon ab einer Bestrahlungsdauer von 5 Sekunden sich im Rasterelektronenmikroskop eine vollständige Entfernung der Smear Layer von der Wurzeloberfläche zeigte. Zudem konnten sie eine Obstruktion der Dentinkanäle beobachten, die sie durch das Vorhandensein von Pulverresten in den Kanälen erklärten. Das Ausmaß der Dentinabrasion war von der Bestrahlungsdauer abhängig. Binnen 40 Sekunden wurden mehr als 700 µm abgetragen. Eine Abrasion von Wurzelzement und Dentin in einem Bereich von 200 µm in 30 Sekunden konnte auch von weiteren Autoren nachgewiesen werden [63, 241]. Jost-Brinkmann [116] stellte fest, dass die Dentinabrasion beim Air-Flow[®]-S1-Gerät mit durchschnittlich 641 µm/min im Vergleich zum Prophy-Jet[®]-30-Gerät mit 340 µm/min deutlich höher lag.

Dentin verhält sich bei Bestrahlung mit Natriumbikarbonatpulver ähnlich wie Wurzelzement. De Boever und Vande Velde [63] stellten bei der Behandlung von Dentin und Zement fest, dass nach intermittierender Einwirkungszeit von 30 s einen Substanzabtrag von zirka 0,2 mm Zement verursacht.

Da die Verwendung von Natriumbikarbonatpulver zur erheblichen Dentinabrasion führt, untersuchte die Gruppe um Petersilka die Auswirkungen des Glyzinpulvers auf Dentin und Wurzelzement und konnte zeigen, dass die Verwendung des Glyzinpulvers nur einen sehr geringen Zahnhartsubstanzabtrag verursacht, und postulierten deshalb die Verwendung dieses Strahlmittels auf Wurzeloberflächen als unbedenklich [188, 190, 191].

Pelka et al. [182] verglichen die Wirkung zweier Pulver-Wasser-Strahlgeräte (PROPHYflex 3[®], EMS Air-Flow[®] Handy 2+) mit vier verschiedenen Prophylaxepulvern

(Air-Flow[®] Pulver (NaHCO₃), ClinPro[™] Pulver (Glyzin), Cleaning Powder[®] (NaHCO₃) und PROPHYpearls[®] Pulver (CaCO₃)) (Abstand: 3 mm; Winkel: 90°; verschiedene Bestrahlungsdauern: 5 s, 10 s und 20 s, maximale Pulver- und Wassereinstellung) auf Wurzelentin und stellten fest, dass das PROPHYpearls[®] Pulver (CaCO₃) den höchsten Dentinabtrag (im Bereich freiliegender Wurzeloberflächen) verursacht. Bei Untersuchung des PROPHYflex-Gerätes mit zwei Pulvern (ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®]-Pulver) in einer Studie zur Dentinhaftung fanden Frankenberger et al. [86], dass das PROPHYpearls[®]-Pulver im Gegenteil zu Glyzinpulver zu einer signifikant reduzierten Dentinhaftung führte.

Berkstein et al. zeigten in ihrer Studie, dass eine regelmäßige Entfernung von Kaffee-Verfärbungen im Wurzelbereich über einen Zeitraum von drei Jahren mit Küretten zu einem Verlust von 325 µm Zement und Dentin führte [29]. Hingegen führte die alternativ durchgeführte PWS-Anwendung nur zu einem Abtrag von 127,7 µm.

Dabei ist festzustellen, dass Patienten eine Behandlung mittels PWS bei freiliegenden Zahnhälsen als wesentlich angenehmer empfinden als eine Behandlung mit Handinstrumenten [163].

3.5.4 Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Weichgewebe

Ein unerwünschter, nicht zu vermeidender Nebeneffekt einer Behandlung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten, ist die Schädigung bzw. Reizung der Gingiva. Zahlreiche Autoren stimmen darin überein, dass eine PWS-Anwendung bei gesunden Patienten zu einer Verletzung der Gingiva und Blutung führt, die jedoch schnell abheilt und klinisch unbedenklich ist [20, 63, 131, 160, 185, 252, 262]. Nach Petersilka et al. führt Glyzin-basiertes Pulver zu weniger Gingiva-Erosionen als Natriumbikarbonatpulver oder Handinstrumente [185].

Verschiedene Autoren fanden unmittelbar nach PWS-Einsatz einen höheren Traumaindex der Gingiva als nach einer Gummikelchpolitur [63, 160, 252]. Klinisch war dieser Unterschied jedoch eine Woche nach der Behandlung nicht mehr festzustellen [160, 252, 262]. Weaks et al. untersuchten nur Patienten mit einer gesunden Gingiva oder Patienten mit lokalisierten gingivalen Entzündungen [252]. Der Effekt auf eine generalisiert entzündete Gingiva wurde bislang nicht untersucht. De Boever und Vande Velde [63] stellten rasterelektronenmikroskopisch fest, dass die Anwendung eines Prophy-Jet[®] am Gingivarand und im Interdentalraum zu einer Desquamation der Gingiva mit begleitender Blutung führte. Nach zwei bis drei Tagen heilte diese ab und

selbst bei Patienten mit großen Taschentiefen kam es nicht zur Ausbildung eines Parodontalabszesses. Außerdem konnten Kontturi-Närhi et al. einen Zusammenhang zwischen dem Entzündungsgrad der Gingiva vor der PWS-Anwendung und dem Erosionsgrad nach der Anwendung nachweisen [131].

Banek-Himpler fand bei der Behandlung von 180 Patienten mit dem Air-Flow[®]-I-Gerät der Firma EMS nur Schädigungen am Zahnfleisch wenn es zu einer akzidentellen direkten Bestrahlung des Zahnfleisches gekommen war. Gelegentlich geäußerte Beschwerden der Patienten über leichtes Brennen des Zahnfleisches verschwanden bereits 1-2 Tage nach der Behandlung [20]. Nach einer PWS-Reinigung von Zähnen vor deren Extraktion zeigten sich keine Heilungskomplikationen der Gingiva an der Extraktionswunde [105].

In einer relativ aktuellen Studie von Kozlovsky et al. [134] aus dem Jahr 2005 zeigte sich nach PWS-Behandlung ein lokales Trauma der Gingiva mit Erosionen. Der Keratinverlust bei der Verwendung des Jet-Polisher[®]-Gerätes war signifikant höher als bei Verwendung des PROPHYflex[®]-2-Gerätes. Es konnte zudem ein Zusammenhang zwischen der Bestrahlungszeit und den daraus resultierenden Effekten auf die Gingiva festgestellt werden. Die Autoren empfehlen daher, bei der klinischen Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten den Bereich der angrenzenden Gingiva mit einer Aluminiumfolie abzudecken. Sie geben ferner zu bedenken, dass schon eine Bestrahlung der Gingiva für 5 Sekunden zu einem tiefen Defekt des Epithels führte, der nach Auffassung der Autoren die Ausbildung einer gingivalen Rezession unterstützen könnte. Mishkin et al. [160] verglichen die Wirkung eines Prophy-Jet[®]-Gerätes (Abstand: 4-5 mm, Winkel: 60°/80°; NaHCO₃ als Strahlpulver) auf die Gingiva mit der eines Gummikelches plus Polierpaste (RCP) und beobachteten unmittelbar nach der PWS-Behandlung mehr sichtbare Irritationen der Gingiva durch das PWS als mit der konventionellen Methode. Eine Woche nach der PWS-Behandlung fanden sie keinen Unterschied mehr gegenüber der Gummikelch-Politur.

Dagegen behaupten verschiedene andere Autoren, dass PWS-Geräte für die Gingiva nicht aggressiver seien als eine Zahnreinigung mittels Gumminapf und Polierpaste [66, 167, 252]. Da, wie oben beschrieben, die Verwendung von Natriumbikarbonatpulver zur subgingivalen Biofilmentfernung ausgeprägte Erosionen des Epithels bis hin zur Exposition des Bindegewebes verursacht [131, 134, 160, 252], untersuchten Petersilka et al. [185] die Auswirkungen von Glyzinpulver auf die Gingiva. Sie wollten beweisen, dass das Luft-Wasser-Glyzin-Gemisch im Sulcus keine negativen Auswirkungen auf

die Weichgewebe hat. Die Studie verglich deshalb bei zehn Patienten die Effekte von Glyzin, NaHCO_3 oder Küretten auf die Gingiva. Die klinischen und histologischen Resultate zeigen, dass nach Pulver-Wasser-Bestrahlung mit Glyzinpulver für fünf Sekunden die epitheliale Barriere erhalten blieb, während sowohl NaHCO_3 sowie auch Küretten eine erhebliche Schädigung der Gingiva hervorriefen. Diese Resultate bestätigen das in anderen klinischen Studien gezeigte Ausbleiben von Verletzungen der Weichgewebe durch Glyzinbestrahlung [83, 163, 190, 191].

3.5.5 Einfluss verschiedener Pulver-Wasser-Strahlgeräte-Einstellungen

In den meisten Studien zu den Wirkungen von PWS wurden leider keine genauen Angaben über die verwendeten Einstellungen gemacht. Die umfassendste Studie unter Einbeziehung von vier PWS (Air-Flow[®] S1, das Prophy-Jet[®] 30, Prophy-Unit[®], Clean-Jet[®]) und exakter Angabe der benutzten Einstellungen ist die von Jost-Brinkmann [116]. Er fand in seiner Untersuchung teilweise Unterschiede in der Rauheit nach Bestrahlung mit verschiedenen Pulver- und Wassereinstellungen. Alle untersuchten Geräte (ausgenommen das Clean-Jet[®]) hinterließen bei minimaler Wassereinstellung eine signifikant glattere Oberfläche als die zum Vergleich herangezogenen Prophylaxepasten und bei mittlerer und maximaler Wassereinstellung eine genauso glatte Oberfläche wie die Bearbeitung mittels Prophylaxepasten (darunter Cleanic[®]). Dagegen hinterließ das Clean-Jet[®]-Gerät bei allen Wassereinstellungen signifikant rauere Oberflächen als die Prophylaxepasten. Schiffner [214] fand einen Zusammenhang zwischen dem Schmelzverlust und der Lufteinstellung. Die Druckeinstellungen entsprachen der minimalen und der maximalen Einstellung am Gerät sowie der Mittelposition zwischen diesen Extremen. Das Air-Flow[®]-Gerät trug nach 5 s bei minimaler Lufteinstellung auf demineralisierten Schmelzoberflächen einen durchschnittlichen Schmelzvolumenverlust von 4,5 % ($\pm 3,8$ %) ab. Der Schmelzvolumenverlust erhöht sich 3-fach bei maximaler Lufteinstellung und erreicht bis zu 13,4 % ($\pm 8,5$ %). Bei Nedwed [169] gab es zwischen den drei von ihr untersuchten Wassereinstellungen (Minimum, Mittel, Maximum) des PROPHYflex[®]-2-Gerätes keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Schmelzabtrag und die ermittelten Rauheitskenngrößen der Schmelzflächen.

3.5.6 Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf restaurative zahnärztliche Materialien und orthodontische Apparaturen

Bei der Anwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten werden oftmals auch Restaurationen bestrahlt. Die Wirkung von PWS auf Gold, Amalgam, Komposite, Keramik und Glasionomerezemente wurde häufig untersucht [23, 54-56, 73, 111]. Verschiedene Studien stellten klinisch eine Mattierung der Oberfläche von polierten metallischen Werkstoffen sowohl bei Füllungen als auch bei prothetischen Rekonstruktionen fest [7, 23, 63].

Keramiken werden weniger durch PWS beeinträchtigt. Cooley et al. [55] bestrahlten verschiedene Dentalkeramiken und Keramikfarben für 30 s aus 5 mm Abstand mit einem Prophy-Jet[®]. Makroskopisch und lichtmikroskopisch waren keine Veränderungen der Farbe oder des Glanzbrandes sichtbar. In der elektronenmikroskopischen Betrachtung waren dagegen bei Keramiken mit aufgebraunten Veränderungen der Oberfläche in Form kleiner Krater und Grübchen erkennbar. Eliades und Mitarbeiter [73] fanden nach 5 s Bestrahlung mit einem Prophy-Jet[®]-Gerät aus 5 mm Abstand bei dünnen Schichten von Verblendkeramik auf metallischem Werkstoff Rissbildungen und Rissfortpflanzungen. Somit sind die Ränder von Metallkeramikrestaurationen bei der Anwendung von PWS besonders gefährdet [73].

In der Literatur zeigten Kompositrestaurationen neben Zementen die größten Oberflächenveränderungen nach Bestrahlung mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät [23, 73, 111, 116, 143, 183]. Teilweise werden an der Füllungsgrenze zum Schmelz nennenswerte Teile von Kunststofffüllungen ausgesprengt [111]. Schon nach einer Bestrahlung für 5 s werden beachtliche Substanzverluste beschrieben [23, 143], wobei Füllkörper freigelegt werden [56, 73]. Daher sollten alle Kompositrestaurationen bei Verwendung von PWS ausgespart werden. Eine aktuelle Studie von Pelka et al. [183] befasste sich mit der Wirkung dreier Prophylaxepulver (Acclean Air[®] Preventive Powder [NaHCO₃], Air-Flow[®] Prophylaxis Powder [NaHCO₃] und ClinPro[™] Prophy Powder [Glyzin]) für 10 s auf ein stopfbares Komposit, zwei „flowable“ Komposite, zwei Fissurenversiegler und einen Glasionomerezement. Die Pulver auf Natriumbikarbonatbasis verursachten bei allen Proben die größten Defekttiefen. Der größte Substanzabtrag erfolgte bei den „Flowables“, der kleinste bei dem stopfbaren Komposit. Die zwei Fissurenversiegler und der Glasionomerezement wiesen vergleichbare Defekte auf, die signifikant kleiner als die der „Flowables“ waren.

Amalgame sind relativ unempfindlich gegenüber einer Behandlung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten: Nach einer Expositionsdauer von 5 s wird die Randschlussqualität der Füllungen laut Barnes et al. nicht beeinträchtigt [23], lediglich die Oberfläche wird rauer und verliert ihren Glanz [23, 73, 143]. Auch Hügelmeier [111] stellte eine aufrauende Wirkung des Air-Flow[®]-Gerätes auf Amalgamoberflächen fest. Diese Oberflächenveränderung ist jedoch bei Verwendung anderer Methoden wie Hand-Scaler-Bearbeitung, Gummichelchpolitur und EVA-System vergleichbar hoch. De Boever und Vande Velde [63] zeigten bei einer rasterelektronenmikroskopischen Auswertung im Rahmen einer In-vivo-Studie ebenfalls Amalgamaufrauungen als Folge einer Prophy-Jet[®]-Bestrahlung. Zusätzlich konnten Eliades et al. neben einer Aufrauung der Amalgamoberfläche bereits nach 5 s Prophy-Jet[®]-Anwendung eine Veränderung der oberflächlichen Amalgamzusammensetzung nachweisen [73].

Besonders bei Patienten mit festsitzenden Apparaturen ist eine Pulver-Wasser-Bestrahlung die deutlich schnellere und gründlichere Alternative zu den herkömmlichen Methoden der professionellen Plaquebeseitigung [24]. Jost-Brinkmann und Radlanski [120] konnten nach einer 3-minütigen Bestrahlung von Keramikbrackets und deren anschließender rasterelektronenmikroskopischer Betrachtung keine Veränderung ihrer Oberfläche feststellen. Bei einem Kunststoffbracket kam es jedoch zu deutlichen Effekten mit Freilegung von Füllerpartikeln, Kantenabrundung und Stufenbildung zwischen Stahlschlitz und Kunststoff. Aufgrund der Abrasionsempfindlichkeit von Kunststoffbrackets gegenüber PWS-Bestrahlung raten Uchida et al. [247] von deren Bestrahlung ab. Auch Wilmes et al. [257] stellten keine klinisch relevanten Oberflächenveränderungen von Keramikbrackets nach einer Bestrahlung aus 2 mm Abstand für 60 s mit den Pulvern ClinPro[™] Prophy und Air-Flow[®] fest. Bei Kunststoffbrackets zeigte sich nach 5 Sekunden Verwendung des Air-Flow[®] Pulvers eine Aufrauung der Oberfläche, die sich mit zunehmender Bestrahlungsdauer verstärkte. Nach einer Bestrahlungsdauer von 5 bis 10 Sekunden mit ClinPro[™] Prophy war noch keine sichtbare Veränderung der Kunststoffoberfläche der Brackets erkennbar. Erst nach einer Bestrahlungsdauer von 30 oder 60 Sekunden führte auch ClinPro[™] Prophy zu einer Oberflächenaufrauung.

Bei der Bestrahlung von Stahlbrackets ist nach übereinstimmender Auffassung mehrerer Autoren keine Oberflächenveränderung zu erwarten [73, 120, 143, 257]. Allerdings liegen bislang keine Ergebnisse zur Wirkung von CaCO₃ als Strahlmittel auf Brackets vor.

3.5.7 Prophylaxepulver

Auf dem Markt gibt es zahlreiche Prophylaxepulver unterschiedlicher Zusammensetzung. Das am häufigsten verwendete Pulver ist Natriumbikarbonat (NaHCO_3). Natriumbikarbonat wird seit 1980 für die professionelle Zahnreinigung eingesetzt [256]. Ein Vorteil von NaHCO_3 ist seine Wasserlöslichkeit, wodurch eine relativ geringe Abrasivität resultiert [140]. Inhalierte Partikel gehen in der Lunge in Lösung und führen zu keiner Gefährdung von Patient und Behandler. Kommt NaHCO_3 schon im Pulvertank in Berührung mit Wasser verklumpt es, und die Pulver führenden Wege können dadurch verlegt werden [36]. Um dies zu verhindern, sind Pulver-Wasser-Strahlgeräte so konstruiert, dass das Wasser und das Pulver-Luft-Gemisch erst spät aufeinander treffen. Den Pulvern (auf NaHCO_3 -Basis) werden hydrophobe Zusätze (0,8 % Siliciumoxid oder Tricalciumphosphat) beigemischt, die nicht nur ein Verklumpen verhindern sollen, sondern auch zu einer Verbesserung des ursprünglich oft als salzig empfundenen Geschmacks führen [186]. Auf der Härteskala nach Mohs lässt sich NaHCO_3 mit Dentin vergleichen [140]. Es ist bekannt, dass Natriumbikarbonat auf gesundem Schmelz keine signifikanten Oberflächenveränderungen verursacht [24, 90, 111, 116, 132, 138, 169]. Allerdings verursacht die Anwendung eines Pulver-Wasser-Strahlgerätes mit einem Natriumbikarbonatpulver zu hohen Abrasionen auf weicheren Substanzen, beispielsweise auf Dentin und Zement bei freiliegenden Wurzeloberflächen [2, 111, 116, 188] oder auf Füllungen [24, 47, 111, 116] (vergleiche Abschnitt 2.4.3 und 2.4.6). Pulver auf Kalziumkarbonatbasis CaCO_3 (PROPHYpearls[®], Firma KaVo) soll laut Herstellerangaben auf Grund seiner sphärischen abgerundeten Form schonender sein als NaHCO_3 . Nach einer Produktinformation des Herstellers rollen die Partikel quasi über die Schmelzoberfläche und entfernen dabei Ablagerungen, Beläge und sogar Zahnstein. CaCO_3 ist nicht wasserlöslich [170], wodurch Ablagerungen und Verstopfungen in den pulverführenden Leitungen vermieden werden. Der Geschmack dieser Pulver wird seitens der Patienten als angenehmer empfunden als NaHCO_3 , da sie nicht salzig schmecken. Untersuchungen zu den klinischen Effekten zeigten indes eine stark abrasive Wirkung von PROPHYpearls[®] [183, 187, 220].

Das Pulver der Aminosäure Glyzin (ClinPro[™] Propy Powder, 3M Espe) kann laut Hersteller auf Grund seiner geringen Abrasivität, sowohl supragingival als auch subgingival angewendet werden [190, 191]. Wie NaHCO_3 ist auch Glyzin wasserlöslich. Als Proteinbaustein ist Glyzin für den Organismus völlig ungefährlich [170]. Die

klinischen Effekte wurden in den letzten Jahren mehrfach untersucht. Petersilka et al. [187, 190, 191] konnten nachweisen, dass die Abrasivität im Vergleich zu Natriumbikarbonat wesentlich geringer ist, sodass Glyzin auch auf Dentin eingesetzt werden kann. Somit kann Glyzin sowohl zur Reinigung von freiliegenden Zahnhälsen als auch zur subgingivalen Plaquentfernung verwendet werden. Außerdem konnten Petersilka et al. [191] in einer In-vivo-Studie zeigen, dass das Entfernen von subgingivaler Plaque mittels Glyzin zu einer signifikant höheren Reduktion der Bakterienzahl in parodontalen Taschen bis 5 mm Tiefe führt als eine herkömmliche Handinstrumentierung. Altmaier [5] untersuchte in ihrer Doktorarbeit die Wirkung dreier Pulver (Air-Flow[®] Prophylaxis Powder [NaHCO₃], ClinPro[™] Prophy Powder [Glyzin] und Henry Schein Acclean Air-Polishing[®] Powder [NaHCO₃]) auf verschiedenen zahnärztlichen Restaurationsmaterialien und fand, dass das glyzinbasierte ClinPro[™] Prophy Powder die geringsten Substanzverluste aller getesteten Materialien verursachte.

Moëne et al. [164] verglichen in einer randomisierten klinischen Studie ein neues Pulver-Wasser-Strahlgerät (Perio-Flow[®], Glyzinpulver) versus Handinstrumentation mit Küretten. Das Perio-Flow[®]-Gerät besitzt eine neuartige Düse, mit einer abgerundeten Spitze, welche aus einem weniger harten Material als die Wurzeloberfläche gefertigt ist. Die Düse erlaubt einen Zugang in die subgingivalen Bereiche ohne Verletzungsrisiko für das Dentin und das Zement. Die Autoren fanden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der kurzfristigen gingivalen Heilung nach Handinstrumentation mit Küretten oder nach Perio-Flow[®]-Anwendung mit Glyzinpulver. Klinisch wurden weder Emphyseme noch Verletzungen der Gingiva festgestellt. Diese Beobachtungen bestätigten die Resultate der früheren Untersuchungen zur Anwendung von Glyzinpulver und zwar unabhängig von der Richtung des Luft-Pulver-Wasser-Strahls, sei es direkt in die parodontale Tasche [83, 190, 191] oder in horizontaler Richtung auf die Wurzel [163]. Bei der Verwendung von NaHCO₃ wurde gelegentlich das Auftreten von Emphysemen beobachtet [82, 141]. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Abrasivität der Partikel durch ihre Größe, Form, Härte und chemische Zusammensetzung bestimmt wird [140].

3.5.8 Sicherheitshinweise für den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten

Aufgrund der bakteriellen Kontamination der Umgebung bei einer PWS-Anwendung und des damit verbundenen Infektionsrisikos durch den Spraynebel [74, 91, 105, 142, 260] werden empfohlen:

- Das Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes sowohl vom Zahnarzt als auch durch seine Assistenz [22, 74, 224].
- Zum Schutz der Augen aller beteiligten Personen (Zahnarzt, Assistenz, Patient) während der Behandlung eine Schutzbrille zu tragen [74, 142, 224].
- Aufgrund des austrocknenden Effekts der Prophylaxepulver (NaHCO_3 und CaCO_3) ist es für die Patienten angenehm, wenn die Lippen vor der Reinigung etwas mit Vaseline eingefettet werden [74].
- Die Patienten vor der Reinigung 1 Minute den Mund mit 0,2 % CHX-Lösung spülen lassen. Hierdurch wird das Risiko einer Mikrobenübertragung während der Behandlung vermindert [260]. Nach Logothesis und Martinez-Welles [142] führte 10 Minuten vor der Behandlung 1 Minute den Mund mit 0,2 % Chlorhexidin zu spülen zu einer Reduktion der bakteriellen Kontamination der Umgebung.
- Das Zahnfleisch sollte möglichst wenig durch den Luft-Pulver-Wasser-Strahl beschädigt werden, um die Gefahr einer Emphysem-Bildung im Gewebe oder einer Embolie durch in den Blutkreislauf eingeblasene Luft zu minimieren [74, 82, 141].
- Darüber hinaus kann eine übermäßige Verwendung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten, schädlich sein und zu starken Abrasion des Zahnschmelzes führen [196].

3.5.9 Kontraindikationen für den Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten

Patienten, die unter chronischer Bronchitis oder Asthma leiden, sollten nicht mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät behandelt werden, da der Luft-Pulver-Wasser-Strahl Atembeschwerden hervorrufen kann [74, 97, 106]. Patienten, die eine salzarme Diät einhalten müssen, dürfen nicht mit Natriumbikarbonat bestrahlt werden [74, 160]. Diese Empfehlung gilt, obschon Snyder et al. [224] eine chemische Analyse des pH-Wertes

und der Natrium-, Kalium- sowie Bikarbonatkonzentration im arteriellen Blut von Hunden nach einer 5-minütigen PWS-Anwendung durchführten und fanden, dass nur die Kaliumkonzentration durch die NaHCO_3 -Bestrahlung signifikant erhöht wurde. Diese Erhöhung war nach Ausfassung der Autoren klinisch nicht relevant. Bei infektiösen Patienten (zum Beispiel Tuberkulose, Hepatitis und Herpes) sollten Pulver-Wasser-Strahlgeräte nicht angewendet werden [91, 142].

Jost-Brinkmann et al. [121] untersuchten das Ausmaß transitorischer Bakteriämie nach einer PWS-Anwendung bei parodontal Gesunden. Nach der Blutabnahme zeigte sich bei einem Drittel der Patienten im unmittelbar nach PWS-Anwendung entnommenen venösen Blut ein Bakterienwachstum, das jedoch in vergleichbarem Ausmaß auch durch häusliche Zahnreinigung entsteht. Bei Risikopatienten (Herzranke oder Immunsupprimierte) wird nach den Richtlinien der American Heart Association eine antibiotische Prophylaxe empfohlen (siehe Herzpass).

Nach PWS-Behandlung sind die Zähne sauber, und das Zahnoberhäutchen ist gänzlich eliminiert [132]. Seine Wiederherstellung durch die Speichelproteine erfordert 2 bis 3 Stunden [211]. Während dieser Zeit besitzen die Zähne keinen natürlichen Schutz gegenüber Farbstoffen. Deswegen darf der Patient 2 bis 3 Stunden nach PWS-Behandlung weder rauchen noch stark färbende Lebensmittel oder Getränke (zum Beispiel Tee, Kaffee) zu sich nehmen. Wegen der guten Benetzbarkeit PWS-gereinigten Schmelzes empfiehlt sich eine farbneutrale Fluoridierung [74].

4 Fragestellungen

Die vorliegende Studie soll durch In-vitro-Experimente die Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Zähne der 1. und 2. Dentition untersuchen. Dazu soll die Wirkung zweier PWS-Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®]) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic [NaHCO₃], ClinPro[™] Prophy Powder [Glyzin] und PROPHYpearls[®] Pulver [CaCO₃]) auf die Oberfläche von Zahnschmelz untersucht werden.

Ziele der vorliegenden Arbeit sind, experimentell zu erarbeiten:

- Welchen Einfluss hat Pulver-Wasser-Bestrahlung auf die Oberflächenrauigkeit von Rinderzahn-, Kälberzahn- und menschlichem Milchzahnschmelz?
- Wie ist die PWS-Anwendung auf Zähnen der 1. und 2. Dentition im Vergleich zur konventionellen Politur mit Prophylaxepasten und Bürste in Bezug auf ihre Aggressivität gegenüber Schmelz zu beurteilen?
- Kann man Kälberzähne als Alternative für menschliche Milchzähne benutzen, um die Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten zu untersuchen?
- Wie viel Zahnhartsubstanz wird durch Anwendung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte bei maximalem Pulver- und Wasserdurchfluss und einem Arbeitsabstand von ca. 5 mm abgetragen?
- Gibt es klinisch bedeutsame Unterschiede in der Wirkung verschiedener Pulver und Pulver-Wasser-Strahlgeräte?

Arbeitshypothesen:

1. Die Wirkung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] auf Schmelzrauigkeit und -abtrag von Zähnen der 1. und 2. Dentition unterscheidet sich nicht.
2. Die Wirkung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] auf bovine und humane Milchzähne bezüglich Schmelzrauigkeit und -abtrag unterscheidet sich nicht von der Wirkung der Prophylaxepasten CCS[®] 40 und Cleanic[®] aufgetragen mittels Bürste.
3. Die Wirkung der Pulver-Wasser-Strahlgeräte Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] auf Schmelzrauigkeit und -abtrag ist nicht von dem verwendeten Strahlmittel abhängig.

4. Kälberzähne eignen sich im Rahmen profilometrischer Untersuchungen als Substitut für menschliche Milchzähne.

5 Materialien und Methoden

5.1 Verwendete Pulver-Wasser-Strahlgeräte

Im Rahmen der nachfolgenden Untersuchung wurden zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräte verschiedener Hersteller verglichen:

- **PROPHYflex 3^{®1} (KaVo)**
- **Air-Flow[®] Handy 2+²(EMS)**

Das KaVo PROPHYflex[®] 3 (Abb. 3) besteht aus dem Grundkörper, einer zur Reinigung abnehmbaren Kanüle, einem abschraubbaren Pulverbehälter und einem Anschluss für die Multiflex-Kupplung zur Verbindung mit der Behandlungseinheit. Es wurde die Originalkanüle mit einer zentralen Öffnung, in der ein Metallring die Trennung von Pulver/Luft (innen) und Wasser (außen) am Austritt sichtbar macht, benutzt. An der Multiflex-Kupplung befindet sich ein Drehring zum stufenlosen Regulieren des Wasserdurchflusses durch Variation des Durchmessers der Durchtrittsöffnung für das Wasser. Für eine maximale Einstellung lagen hier die beiden auf der Kupplung gekennzeichneten roten Markierungen genau übereinander. Das Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät (Abb. 4) unterscheidet sich im Aufbau der Düse und Pulverkammer vom PROPHYflex 3[®]-Gerät.



Abb. 3 a und b:

a) komplettes PROPHYflex 3[®]-Gerät

b) PROPHYflex 3[®]-Gerät zerlegt in:

1. Kanüle
2. Grundkörper
3. Pulverbehälter
4. Steckverbindung für Multiflex-Kupplung

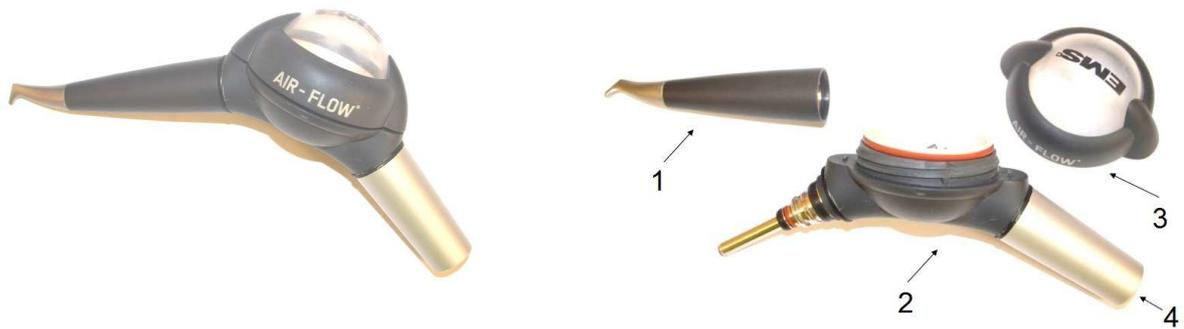


Abb. 4 a und b:

a) komplettes Air-Flow[®] Handy 2+-Gerätb) Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät zerlegt in:

1. Kanüle
2. Grundkörper
3. Pulverbehälter
4. Steckverbindung für Multiflex-Kupplung

5.2 Verwendete Strahlmittel

Es wurden drei Pulver verschiedener Hersteller verglichen:

- Air-Flow[®] Pulver Classic³
- ClinPro[™] Prophy Powder⁴ und
- PROPHYpearls[®] Pulver⁵

Alle Hersteller behaupten, dass ihre Produkte schonend und wirksam bei der professionellen Zahnreinigung und beim Abtragen von Zahnbelägen sind.

Der Hauptbestandteil des Air-Flow-Pulvers ist Natriumbikarbonat NaHCO_3 (landläufig als Backpulver bekannt) (Abb. 5), während ClinPro[™] Prophy Powder zu 99 % aus Glyzin besteht, einer biologischen Aminosäure, die sich im Mundraum schnell auflöst und bedenkenlos geschluckt werden kann (Abb. 6). PROPHYpearls[®] Pulver besteht hauptsächlich aus Kalziumkarbonat (Abb. 7).

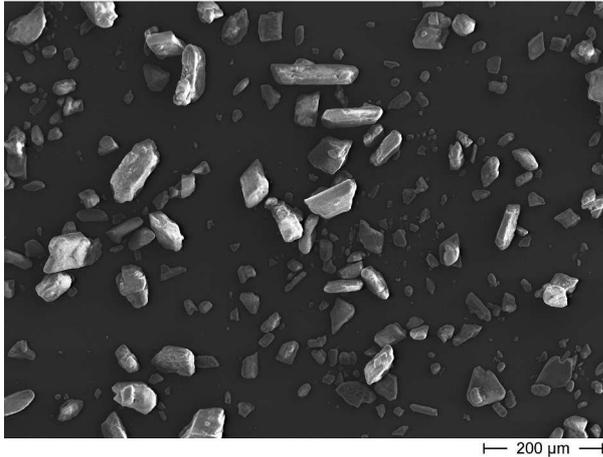


Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Air-Flow® Pulver Classic
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung
R. Wimmer

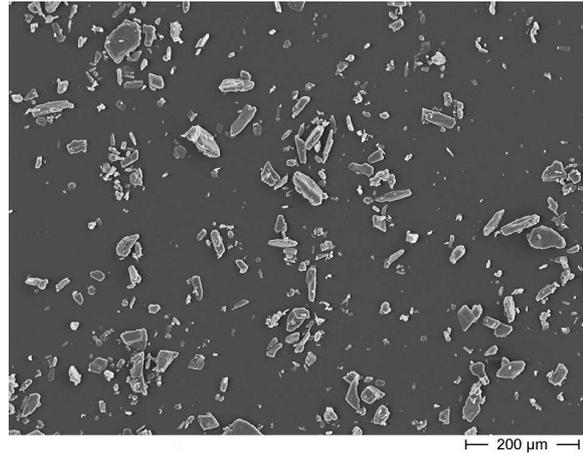


Abb. 6: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von ClinPro™ Prophy Powder
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung
R. Wimmer

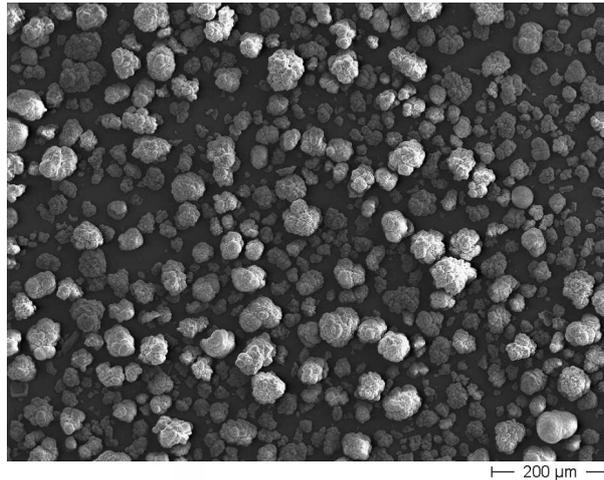


Abb. 7: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von PROPHYpearls® Pulver
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung R. Wimmer

5.3 Untersuchungen zur Oberflächenveränderung von Zahnschmelz durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte im Vergleich zu konventioneller Politur

5.3.1 Herstellung der Prüfkörper

Untere Inzisivi frisch geschlachteter Tiere (60 von Rindern, 80 von Kälbern) wurden in Höhe des Zahnhalses schonend mit einer rotierenden wassergekühlten Diamantscheibe⁶ von den Rinder- bzw. Kälberkiefern abgetrennt. Mit einem Diamantschleifer⁷ wurden 3 bis 5 mm lange Rillen an der Mesial- und Distalfläche der Kronen in Kronenlängsrichtung eingeschliffen (Abb. 8a). Sie dienten einer leichteren

Entfernung der Pulpa und der Retentionsverbesserung der Zähne in der Einbettmasse. Als Vergleich wurden je 80 extrahierte kariesfreie menschliche Oberkiefermilchinzisivi und 2. Milchmolaren verwendet. Die Lagerung der Zähne vor und nach Einbettung erfolgte in 0,1%ger Thymollösung⁸ bei Raumtemperatur ($23 \pm 1^\circ \text{C}$).

Das Einbetten der Zähne geschah in einer schnellhärtenden Polyurethan-Gießmasse⁹, unter Zusatz von 150 % keramischem Füllstoff¹⁰, um die Dimensionsstabilität zu verbessern und die Temperaturerhöhung während des Abbindens zu minimieren. Jeweils drei beziehungsweise zehn Kronen (abhängig von der Größe der verwendeten Silikonform) wurden mit doppelseitigem Klebeband¹¹ flächig auf einer Plexiglasscheibe fixiert, wobei ihre Labialflächen der Scheibe zugewandt waren (Abb. 8b). Die Scheibe wurde mit den anhaftenden Zähnen nach unten auf eine Silikonform (Abb. 8c) aufgelegt, deren drei beziehungsweise zehn einzeln liegende Vertiefungen vorher mit der Harzmasse gefüllt worden waren. Es wurden zwei Silikonformen benutzt. Eine mit drei Vertiefungen und die andere mit zehn. Somit konnten die Kronen in die weiche Masse einsinken, während ihre Labialflächen herausragten und freilagen (Abb. 8d). Nach zirka 30 min Aushärtungszeit wurde die Plexiglasscheibe mit den Klebestreifen entfernt. Die einzelnen Prüfkörper konnten leicht aus der Silikonform entnommen werden, da die Vertiefungen vor dem Füllen mit der Harzmasse mit Silikonspray¹² isoliert wurden. Jeder Prüfkörper (Abb. 8e) erhielt mittels wasserfestem Stift eine Nummer und wurde erneut in 0,1%ger Thymollösung gelagert.

5.3.1 Vorbereitung der Schmelzoberfläche

Um als Ausgangspunkt für die zu prüfenden Bearbeitungsmethoden eine plane Referenzoberfläche zu erhalten, wurden die Labialflächen der Zähne mit SiC-Papier¹³ bis 4000er Krönung parallel zur Prüfkörperunterseite plangeschliffen und poliert. Die dazu verwendete Tellerschleifmaschine der Firma VectorTM LC¹⁴ arbeitet nach dem Einzelprobenandruckprinzip. Bei diesem Verfahren werden 1 bis 4 eingebettete Proben lose in den Probenhalter eingelegt und jeweils einzeln von einem eigenen Pressstempel angedrückt. Die Anpresskraft lässt sich für jede Probe einzeln einstellen. Damit die Proben beim Anheben des Probenhalters zum Wechseln der Schleifpapiere im Probenhalter verblieben, wurden sie mit Gummiringen fixiert. Der Gummiring wurde um den Prüfkörper gespannt. Jede Probe wurde mit 200 g belastet.

Die Politur erfolgte mit SiC-Papier in aufsteigender Körnung unter Wasserkühlung. Die erste verwendete Körnung für die Rinderzähne war 320 während für die Kälber- und

menschlichen Milchzähne mit 1200er Körnung begonnen wurde. Die Rotationsgeschwindigkeit betrug 200 rpm (Rotationen pro Minute). Dabei wurden die Prüfkörper in Abständen von 1 bis 3 Minuten kontrolliert. Bei Erreichen der erforderlichen Oberflächengröße ($7 \times 2 \text{ mm}^2$) aller vier Prüfkörper erfolgte eine Feinpolitur nacheinander für jeweils 3 min mit SiC-Papier der Körnungen 500, 800, 1200, 2400 und 4000 für die Rinderzähne und 2400 und 4000 für Kälber- und menschliche Milchzähne. Bei Freilegung von Dentin oder sichtbaren Schmelzrissen wurden die Prüfkörper verworfen.

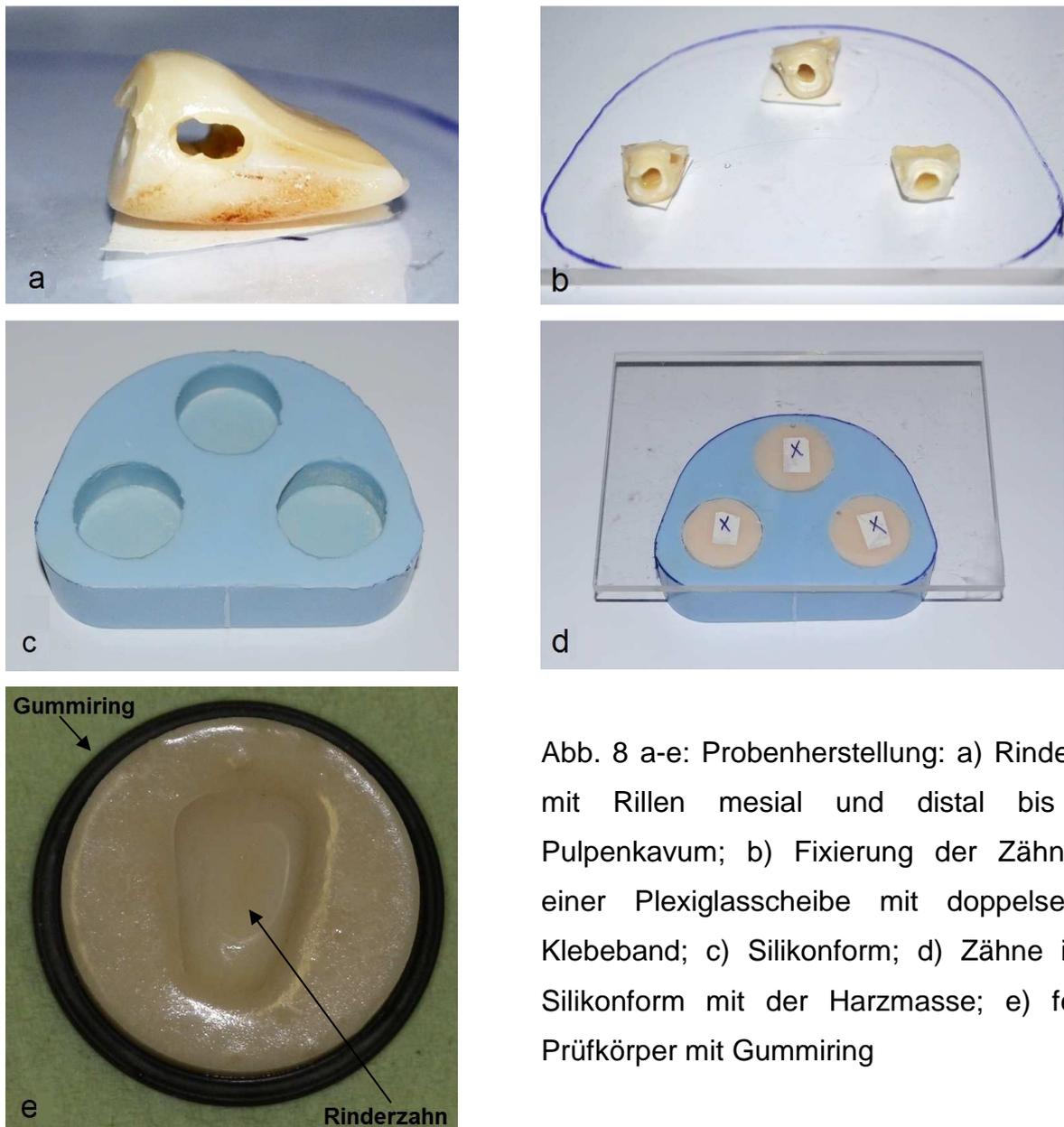


Abb. 8 a-e: Probenherstellung: a) Rinderzahn mit Rillen mesial und distal bis zum Pulpenkavum; b) Fixierung der Zähne auf einer Plexiglasscheibe mit doppelseitigem Klebeband; c) Silikonform; d) Zähne in der Silikonform mit der Harzmasse; e) fertiger Prüfkörper mit Gummiring

5.3.2 Verwendete Prophylaxepasten und Applikatoren

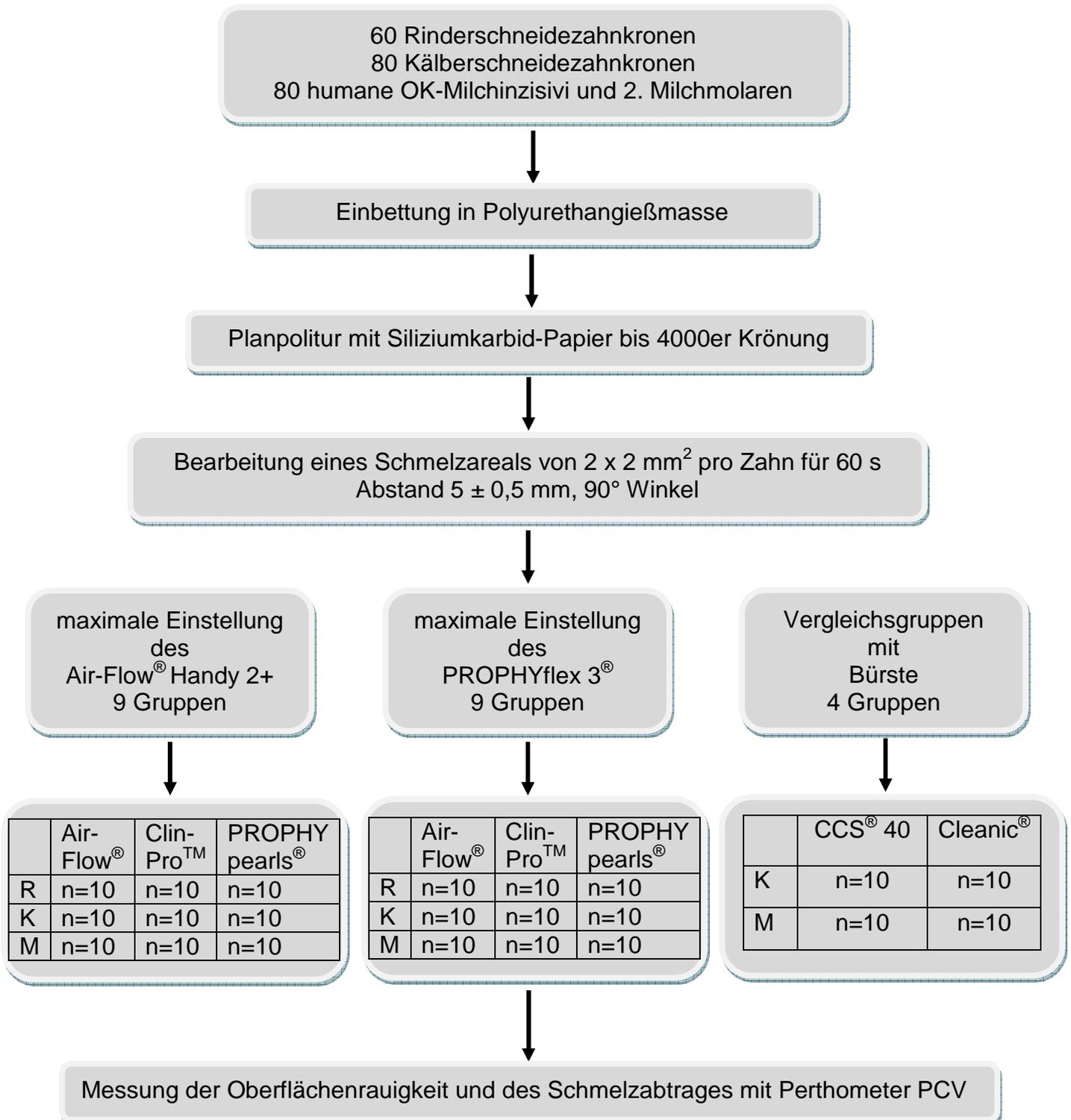
Da die Reinigung von Schmelzoberflächen und die Entfernung von Belägen und Plaque mithilfe entsprechender Prophylaxepasten seit Jahren in der Zahnmedizin etabliert und anerkannt ist, werden die mit dieser Methode gewonnenen Vergleichswerte für die Beurteilung des PROPHYflex 3[®] und Air-Flow[®] Handy 2+ herangezogen. Als Prophylaxepasten finden Verwendung: CCS[®] 40-Paste¹⁵ und Cleanic[®]-Paste¹⁶.

CCS[®] 40 gehört (gemeinsam mit CCS[®] 120, CCS[®] 170 und CCS[®] 250) zu einem System von vier aufeinander abgestimmten Prophylaxepasten verschiedener Abrasivität zum Entfernen von Verfärbungen und Zahnbelägen sowie zur Politur der Zähne. Die Zahl im Namen gibt laut Hersteller den RDA-Wert der jeweiligen Paste an. Die Politur mit den Prophylaxepasten erfolgte mit spitzen Nylonbürsten¹⁷ in einem grünen Winkelstück (SIRONA 4000S¹⁸) bei langsamer Drehzahl (Einstellung 2 an Sirona M1+¹⁸). Für jeden Poliergang wurde 0,1 g Paste verwendet, davon 0,05 g in den ersten 30 s und die restlichen 0,05 g in den zweiten 30 s. Für jede bearbeitete Fläche wurde eine neue Bürste verwendet.

5.3.3 Bearbeitung der Prüfkörper

Wegen der geringen verfügbaren Schmelzoberfläche der Milchzähne nach dem Polieren wurde die zu bestrahlende Schmelzfläche bei allen Zähnen auf $2 \times 2 \text{ mm}^2$ festgelegt. Zum Bearbeiten der planpolierten Zahnflächen wurden diese in eine Aluminiumhalterung¹⁹ eingesetzt, deren Blende eine Fläche von $7 \times 2 \text{ mm}^2$ freiliebt. Der Schlitz wurde mit einem Aluminiumblech verblendet, in das ein Fenster von $2 \times 2 \text{ mm}^2$ geschnitten war. Während des Bestrahlens wurde mit dem Strahlgerät der gesamte Schlitz von $7 \times 2 \text{ mm}^2$ bearbeitet, obschon die bearbeitete Schmelzfläche innerhalb dieses Bereiches nur $2 \times 2 \text{ mm}^2$ groß war. Die Bestrahlungsdauer betrug stets 60 s, der Abstand $5 \pm 0,5 \text{ mm}$. Dies wurde mit Hilfe eines Blocks aus Kunststoff mit passgenauer Auflage für das Pulver-Wasser-Strahl-Handstück gewährleistet. Der Pulver-Wasser-Strahl traf im 90° -Winkel auf die Oberfläche. Das Pulver-Wasser-Strahlgerät wurde in seiner Vorrichtung mit senkrecht nach unten stehender Düse und dem entsprechenden Düsenabstand zur Zahnoberfläche des Prüfkörpers festgeklemmt. Die Wasserdosierung stand auf Maximum, der Pulvertank wurde nach jedem Versuch bis zur möglichen Obergrenze aufgefüllt. Die Bearbeitung der Prüfkörper geschah in einer durchsichtigen Plastikbox, um die Aerosolbildung zu minimieren. Die Box hat die Form

eines vierseitigen Prismas, bei dem die Seitenteile (links und rechts) durchbohrt sind und die nach oben gewandte Seite als Deckel mit Scharnieren fungiert, durch die man die Untersuchungsgegenstände, sprich Prüfkörper und das PWS-Gerät, einlegt. Die Seitenlängen betragen bei der Stirnseite 30 cm, bei der Rückseite 46 cm, die identisch (durchbohrten) Seitenteile betragen 37 cm. Die Höhe der Vorderfront des Prismas liegt bei 26 cm und bei der Hinterfront 36 cm.



R=Rinderzähne , K=Kälberzähne, M=humane Milchzähne

Abb. 9: Flussdiagramm zur Vorbereitung, Bearbeitung und Messung der Schmelzprüfkörper

	Rinderzähne	Kälberzähne	humane Milchzähne
Anzahl der Proben	60	80	80
Bestrahlungsfläche	2 x 2 mm ²	2 x 2 mm ²	2 x 2 mm ²
Bestrahlungsabstand	5 mm	5 mm	5 mm
Bestrahlungsdauer	60 s	60 s	60 s
Bestrahlungsgeräte (Bürste)	Air-Flow [®] Handy 2+ PROPHYflex 3 [®]	Air-Flow [®] Handy 2+ PROPHYflex 3 [®] Bürste	Air-Flow [®] Handy 2+ PROPHYflex 3 [®] Bürste
Bestrahlungsmedium (Pasten)	Air-Flow [®] Pulver ClinPro [™] Prophy PROPHYpearls [®]	Air-Flow [®] Pulver ClinPro [™] Prophy PROPHYpearls [®] CCS [®] 40 Cleanic [®]	Air-Flow [®] Pulver ClinPro [™] Prophy PROPHYpearls [®] CCS [®] 40 Cleanic [®]
Gesamtprobenzahl	10 x 22 Gruppen = 220 Proben		

Tab. 3: Zusammenfassung der Versuchsparameter zur Schmelzbearbeitung

5.3.4 Oberflächenmessungen

Die Oberflächenmessungen erfolgten mittels mechanischer Profilometrie mit dem Perthometer PCV²⁰ in Kombination mit der Vorschubeinheit MarSurf GD 25²⁰ und dem Bezugsflächentaster MFW-250²⁰ mit einem Tastarm für Mikromessungen (Tastkraft 0,7 mN). Die Steuerung und Auswertung erfolgten mit dem Auswerte-Software-Paket MarSurf XCR 20²⁰.

4.3.5.1 Messung der Oberflächenrauigkeit

Nachstehende Kenngrößen wurden im Bereich der bestrahlten oder polierten Schmelzflächen bestimmt und sind wie folgt definiert:

Mittenrauwerte, R_a (ISO 4287, ASME B46.1)

Der arithmetische Mittenrauwert R_a ist der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Profilwerte des Rauheitsprofils.

Mittlere Rautiefe, R_z (ISO 4287, ASME B46.1)

Die mittlere Rautiefe R_z ist der Mittelwert aus den Einzelrautiefen Z_i fünf aufeinander folgender Einzelmessstrecken ($l_r = 0,3 \text{ mm}$) innerhalb der Gesamtmessstrecke ($l_n = 1,5 \text{ mm}$).

Maximale Rautiefe, R_{max} (VDA 2005, ASME B46.1)

Die maximale Rautiefe R_{max} ist die größte Einzelrautiefe innerhalb der Gesamtmessstrecke.

Auf der vermessenen Schmelzoberfläche wurden stets drei separate Rauigkeitsscans durchgeführt: einer im nicht bestrahlten Teil und ein zweiter zwischen bestrahlter und unbestrahlter Zahnfläche sowie ein dritter in der bestrahlten Hälfte der Prüfkörper. Zur Positionierung der Prüfkörper in der Messvorrichtung wurden zwei mit „R“ bezeichnete Referenzpunkte (Löcher) von 0,6 mm Durchmesser gebohrt (Abb. 11).

Zuerst wurde im Bereich der bearbeiteten planpolierten Probe eine Messung von 1,5 mm Länge vorgenommen (Abb. 11, Scan α). Als Profilschalter wurde das ungefilterte Primärprofil P gewählt. Das Primärprofil P enthält alle vom Taster erfassten Gestaltabweichungen der Prüffläche ohne die Neigungsabweichungen der Bezugsfläche. Die Ergebnisse dieser Messung (R_a , R_z , R_{max}) wurden nacheinander am Perthometer PCV abgelesen und notiert. Dann erfolgte eine zweite Messung von 0,75 mm Länge, die die Scanbewegung der ersten Messung fortsetzte. Da im Bereich dieser Messung die Stufe zwischen bestrahlter und unbestrahlter Probenfläche lag, blieben die Ergebnisse dieser Messung unberücksichtigt. Sodann erfolgt eine dritte Messung von 1,5 mm Länge (Abb. 11, Scan β). Diese lag vollständig innerhalb der bestrahlten Schmelzfläche und wurde bezüglich der oben aufgeführten Rauheitsparameter ausgewertet.

Sowohl im Bereich der mit SiC-Scheiben polierten Schmelzoberflächen als auch der bestrahlten beziehungsweise mit den Prophylaxepasten polierten Schmelzflächen wurden Mittenrauwerte (R_a), mittlere Rautiefe (R_z) und maximale Rautiefe (R_{max}) bestimmt.

4.3.5.2 Bestimmung des Schmelzabtrags

Wellentiefe, W_t (ISO 4287, ASME B46.1)

Die Wellentiefe W_t ist der senkrechte Abstand zwischen 2 äquidistanten Begrenzungslinien von der Form des geometrisch idealen Profils, die das Welligkeitsprofil innerhalb der Messstrecke kleinstmöglich einschließen.

Zur Bestimmung des Schmelzabtrags wurde auf der gleichen Linie wie bei den vorhergehenden Messungen eine weitere Messung von 4,5 mm Länge durchgeführt (Abb. 11, Scan Y). Die Messung fing in der unbestrahlten Fläche an, führte über die bestrahlte Fläche und endete wieder in der unbestrahlten Fläche. Gemessen wurde der größte Abstand des Welligkeitsprofils von der Begrenzungslinie (zwischen den beiden mit SiC-Scheiben plangeschliffenen Schmelzoberflächen) (Abb. 10, W_t).



Abb. 10 Schematische Darstellung für die Wellentiefe (W_t) zur Bestimmung des maximalen Schmelzverlustes

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

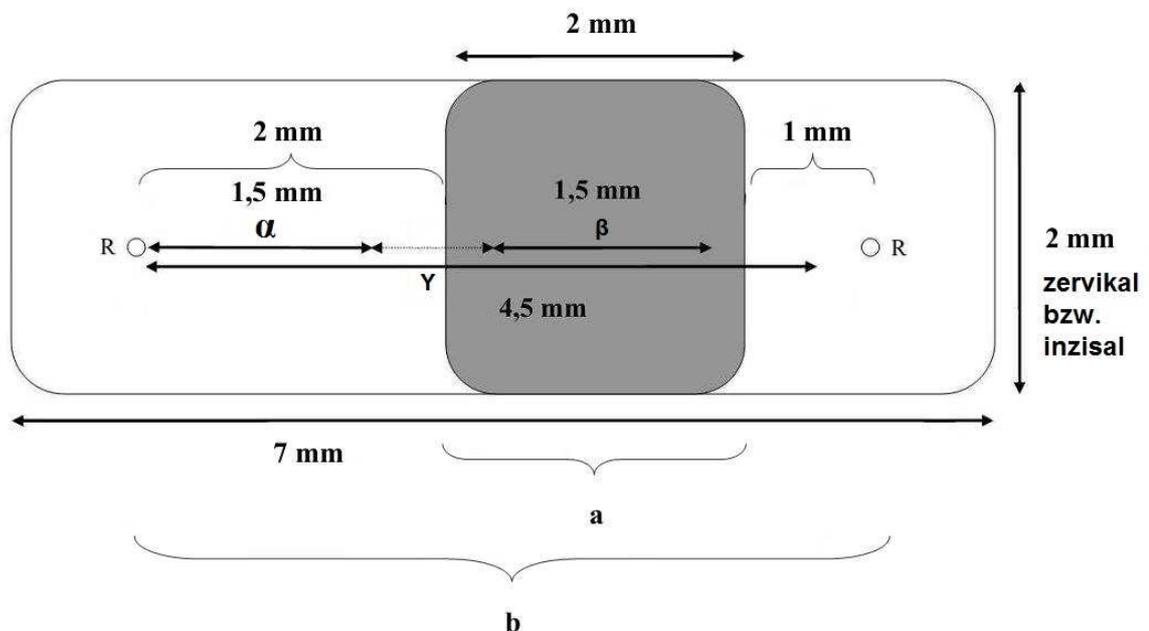


Abb. 11 Schematische Darstellung des 7 mm x 2 mm großen (zunächst planpoliert) Schmelzareals das profilometrisch vermessen wurde nachdem es, in einer 2 mm x 2 mm großen Teilfläche mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät bearbeitet wurde: Bestrahltes Schmelzareal (a), Bereich in dem mittels Profilometer Messungen vorgenommen wurden (b).

R = Referenzbohrlöcher zur Positionierung der Prüfkörper in der Messvorrichtung.

5.3.5 Auswertung der Oberflächenmessungen

Zuerst wurde für R_a , R_z , R_{max} und W_t jeweils die Differenz zwischen den Messwerten der (nur) mit SiC-Scheiben plangeschliffenen Probeseite und der PWS-bestrahlten oder

mit Prophylaxepasten bearbeiteten Schmelzfläche bestimmt: $R_{a,diff}$, $R_{z,diff}$, $R_{max,diff}$ und $Wt_{,diff}$. Diese Werte beschreiben die Veränderung der Oberfläche durch Bestrahlung (bzw. Prophylaxepasten-Anwendung), das eigentliche Ziel der vorliegenden Untersuchung.

Für die grafische Darstellung der Versuchsergebnisse wurden Box-Whisker-Plots gewählt, um die Verteilung der Messwerte zu visualisieren (Abb. 12). Die statistische Auswertung erfolgt mit Stata/IC 11.2²¹ für Windows.

Ob Zahnart, Pulver und Gerät einen Einfluss auf die Veränderung der Messwerte haben, wird für $R_{a,diff}$, $R_{z,diff}$ und $R_{max,diff}$ jeweils anhand einer Varianzanalyse untersucht. Betrachtet werden dabei sowohl die Haupteffekte Zahnart, Pulver und Gerät, die Zweifachinteraktionen Pulver x Gerät, Pulver x Zahnart, Gerät x Zahnart und auch die Dreifachinteraktion Zahnart x Pulver x Gerät. Mit dem F-Test wird global getestet, ob der Mittelwert der Differenz bei allen Ausprägungen des entsprechenden Faktors gleich ist. Eine Überprüfung der Normalverteilungsannahme erfolgte nicht, da der F-Test relativ robust gegenüber der Verletzung dieser Annahme ist.

Zunächst wird global getestet, ob die Nullhypothese gleicher Mittelwerte gilt. Bei den Faktoren, bei denen diese Nullhypothese abgelehnt werden muss, und die mehr als 2 Ausprägungen haben (dies sind Zahnart und Pulver) werden die Gruppen anschließend paarweise miteinander verglichen. Bei den paarweisen Vergleichen werden die p-Werte mit dem Bonferroni-Holm-Verfahren adjustiert (multiples Testen). Ein signifikanter Effekt besteht dann, wenn der p-Wert kleiner als das gewählte Signifikanzniveau ist. Alle Tests erfolgten zweiseitig zum Signifikanzniveau 0,05.

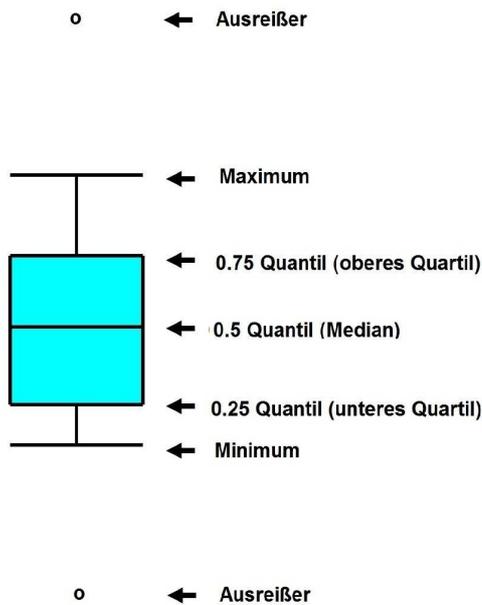


Abb. 12 Box-Whisker-Plot Erklärung

Ein Box-Whisker-Plot ist eine graphische Darstellung (robuster) Verteilungsstatistiken, um zentrale Tendenz, Streuung, Schiefe und Spannweite einer Verteilung (inkl. möglicher Ausreißer) in einem Bild zusammenzufassen.

Der Kasten entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Er wird durch das 25 %- und 75 %-Quantil (auch als 1. und 3. Quartil bezeichnet) begrenzt. Die Länge des Kastens entspricht dem Interquartilsabstand. Dieser ist ein Maß der Streuung der Daten, welches durch die Differenz des oberen und unteren Quartils bestimmt wird. In der Mitte des Kastens wird der Median eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50 % der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb des Kastens bekommt man also einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung vermittelt. Ist der Median im oberen Teil des Kastens, so ist die Verteilung rechtsschief, und umgekehrt [243].

obere Ausreißer: Beobachtungen, die mehr als 1.5-Kastenlängen vom oberen Quartil entfernt sind

untere Ausreißer: Beobachtungen, die mehr als 1.5-Kastenlängen vom unteren Quartil entfernt sind (die Kastenlänge berechnet sich aus der Differenz vom oberen und unteren Quartil)

6 Ergebnisse

6.1 Veränderung der Schmelzoberfläche von Rinder-, Kälber- und menschlichen Milchzähnen durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Mittenrauwerte R_a , die mittlere Rautiefe R_z , die maximale Rautiefe R_{max} und die Wellentiefe Wt (als Kenngröße für den Substanzverlust) dargestellt.

Die Varianzanalyse (ANOVA F-Test) ergab, dass die Veränderung der Rauigkeit der Schmelzoberflächen signifikant von verwendetem Pulver, dem Gerät und der Zahnart abhängt (Tab. 4). Die Veränderung durch das PROPHYflex 3[®]-Gerät ist größer als durch das Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät. Außerdem ist die Interaktion Zahnart und Pulver signifikant ($p=0,000$). Die Interaktionen Pulver x Gerät ($p=0,259$) und Gerät x Zahnart ($p=0,577$) sowie die 3-fach-Interaktion Pulver x Gerät x Zahnart ($p=0,914$) haben keinen signifikanten Einfluss. Da die Interaktion Zahnart x Pulver signifikant ist, wurden die paarweisen Vergleiche für die Haupteffekte Pulver und Zahnart mit dem Bonferroni-Holm-Adjustierungs-Verfahren ermittelt.

In Tabelle 5 sind die Messergebnisse der Rauheitskenngrößen und der Kenngröße des Substanzabtrages in Abhängigkeit von Zahnart und Pulver zusammengefasst.

Faktor	p-Wert (F-Test)			
	$R_{a,diff}$	$R_{z,diff}$	$R_{max,diff}$	$Wt_{,diff}$
Pulver	0.000	0.000	0.000	0.000
Gerät	0.000	0.049	0.045	0.020
Zahnart	0.000	0.000	0.000	0.000
Pulver x Gerät	0.259	0.675	0.505	0.478
Pulver x Zahnart	0.000	0.000	0.000	0.000
Gerät x Zahnart	0.577	0.620	0.494	0.798
Pulver x Gerät x Zahnart	0.914	0.763	0.707	0.652

Tab. 4 Varianzanalyse (ANOVA F-Test) der Faktoren

		$R_{a,diff}$ [μm]	$R_{z,diff}$ [μm]	$R_{max,diff}$ [μm]	$Wt_{,diff}$ [μm]
Bovine Milchzähne	Air-Flow [®] Pulver Classic	0,106±0,015	0,384±0,056	0,458±0,072	8,27±0,96
	ClinPro [™] Propphy Powder	0,094±0,014	0,371±0,057	0,418±0,058	7,98±1,20
	PROPHYpearls [®]	0,325±0,035	1,771±0,128	2,184±0,203	19,72±2,26
	Cleanic [®]	0,102±0,016	0,381±0,063	0,451±0,063	9,91±1,33
	CCS [®] 40	0,034±0,009	0,178±0,035	0,223±0,041	2,02±0,59
Humane Milchzähne	Air-Flow [®] Pulver Classic	0,117±0,015	0,382±0,049	0,496±0,064	10,42±1,39
	ClinPro [™] Propphy Powder	0,108±0,015	0,382±0,071	0,466±0,072	9,25±1,35
	PROPHYpearls [®]	0,368±0,056	1,871±0,133	2,329±0,178	25,68±2,44
	Cleanic [®]	0,114±0,014	0,427±0,047	0,504±0,046	10,95±1,33
	CCS [®] 40	0,014±0,013	0,215±0,038	0,238±0,036	2,39±0,56

Tab. 5: Mittelwert und Standardabweichungen der Rauheitskenngrößen und der Wellentiefe nach Bearbeitung der Schmelzoberfläche mit den Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Propphy Powder und PROPHYpearls[®]) oder Prophylaxepasten (Cleanic[®] und CCS[®] 40) auf humanen beziehungsweise bovinen Milchzähnen.

6.1.1 Rauheit

Die grafische Darstellung der Resultate für $R_{a,diff}$, $R_{z,diff}$ und $R_{max,diff}$ erfolgt mittels Box-Whiskers-Plots in den Abbildungen 13 bis 17.

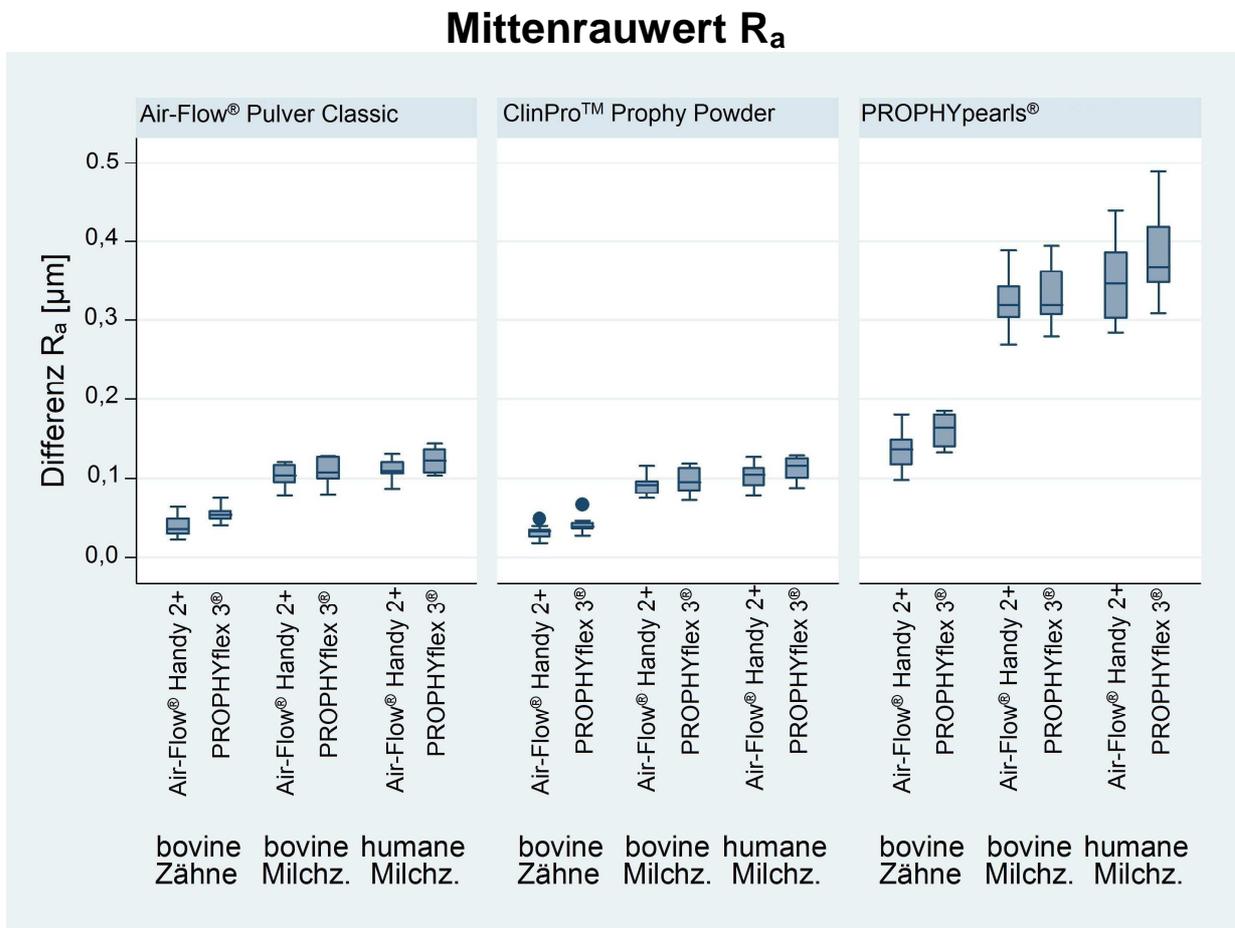


Abb. 13: Mittenrauwerte $R_{a,diff}$ (Differenz der R_a -Werte nach und vor Bestrahlung) bleibender Rinderzähne (bovine Zähne), Kälberzähne (bovine Milchzähne) und humaner Milchzähne; Strahldauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® jeweils bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls® Pulver).

Mittlere Rautiefe R_z

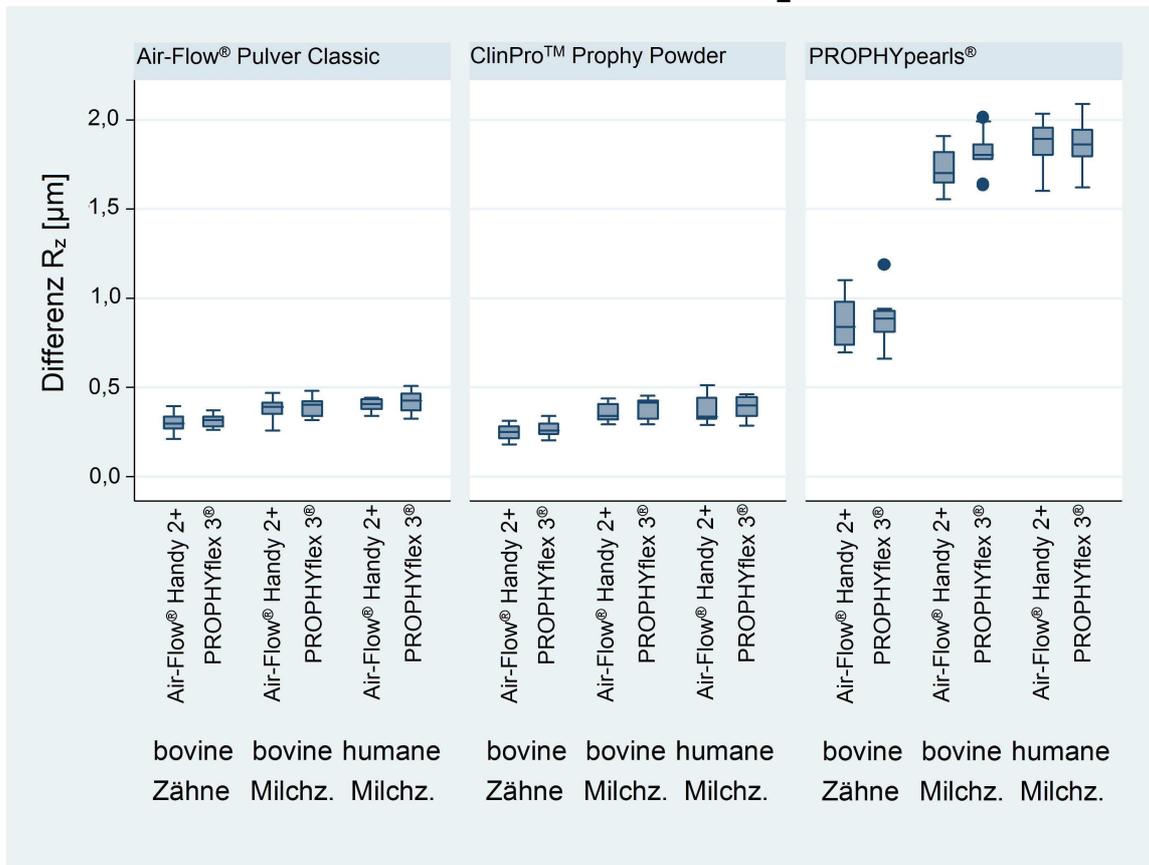


Abb. 14: Mittlere Rautiefe $R_{z,diff}$ (Differenz der R_z -Werte nach und vor Bestrahlung) bleibender Rinderzähne (bovine Zähne), Kälberzähne (bovine Milchzähne) und humaner Milchzähne; Strahldauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® jeweils bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls® Pulver).

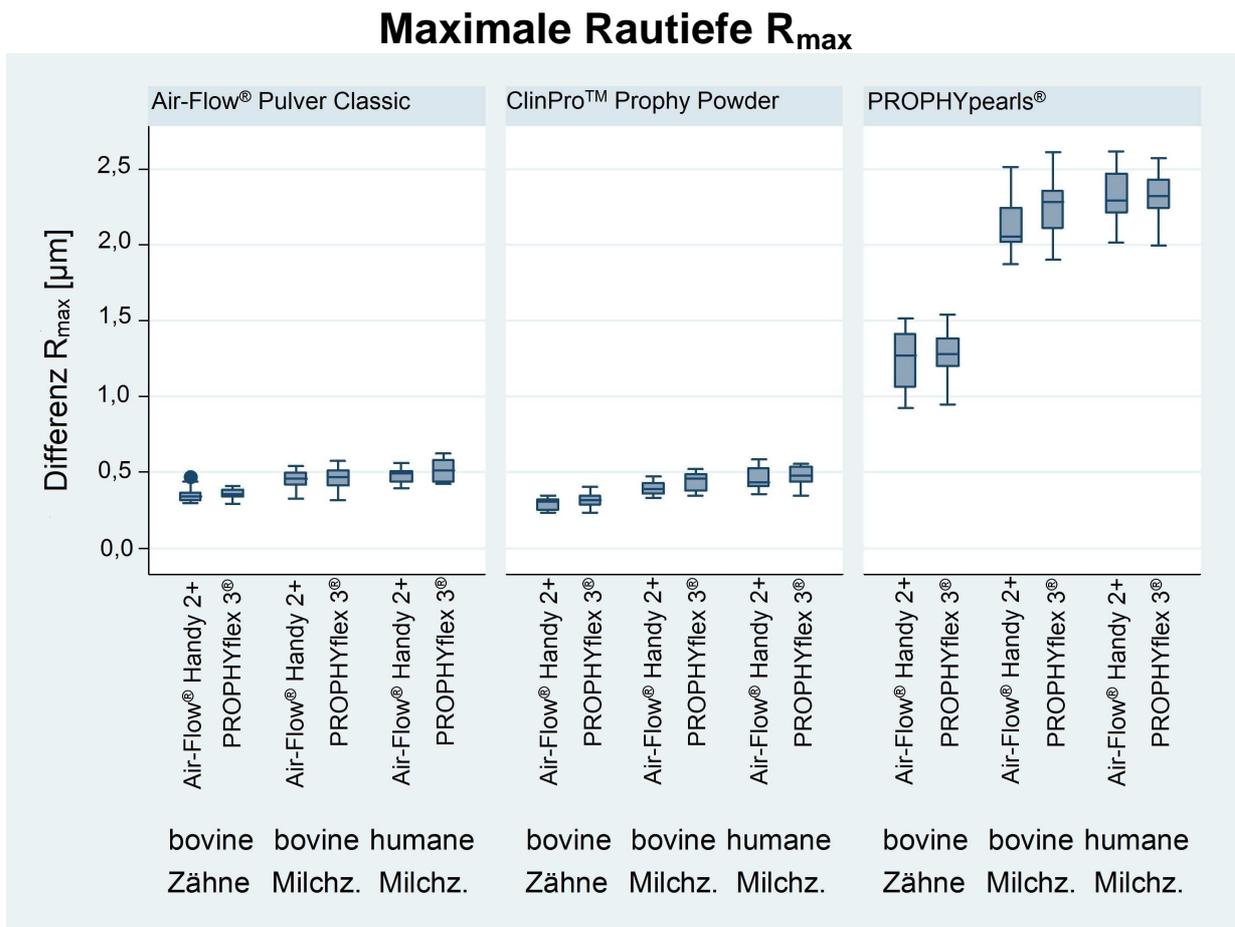


Abb. 15: Maximale Rautiefe $R_{\max,\text{diff}}$ (Differenz der R_{\max} -Werte nach und vor Bestrahlung) bleibender Rinderzähne (bovine Zähne), Kälberzähne (bovine Milchzähne) und humaner Milchzähne; Strahldauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® jeweils bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls® Pulver).

Die Abbildungen 13, 14 und 15 zeigen, dass PROPHYpearls®-Pulver signifikant rauere Schmelzoberflächen erzeugt als Air-Flow®- und ClinPro™-Pulver. Die Rauheit nach Air-Flow® Pulver Classic- und ClinPro™-Anwendung ist nicht signifikant unterschiedlich. Die von den untersuchten Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3®) auf bleibenden Rinderzähnen erzeugte Rauigkeit unterscheidet sich signifikant von den Wirkungen auf Kälber- und humane Milchzähne. Zwischen Kälber-

und Milchzähnen besteht kein signifikanter Unterschied. Die PWS-induzierte Rauigkeit bei Rinderzähnen ist signifikant kleiner als bei Kälber- und Milchzähnen.

Mittenrauwert R_a

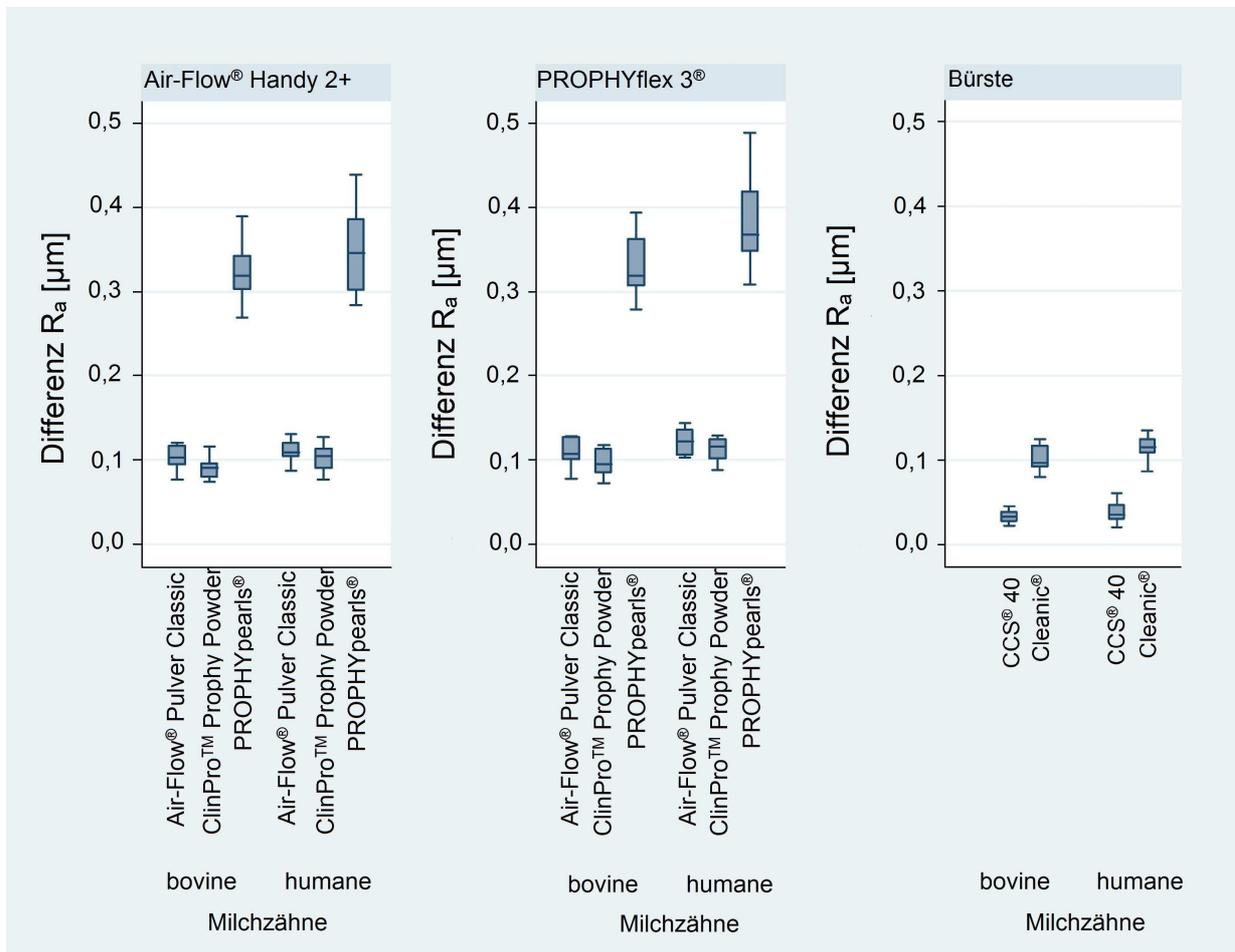


Abb. 16: Mittenrauwerte $R_{a,\text{diff}}$ (Differenz der R_a -Werte nach und vor Bestrahlung) boviner und humaner Milchzahnschmelzoberflächen; Strahl-/Polierdauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei Verwendung zweier PWS-Geräte (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls®) im Vergleich zur Wirkung zweier Prophylaxepasten (Cleanic® und CCS® 40) bei Bürstenanwendung.

Mittlere Rautiefe R_z

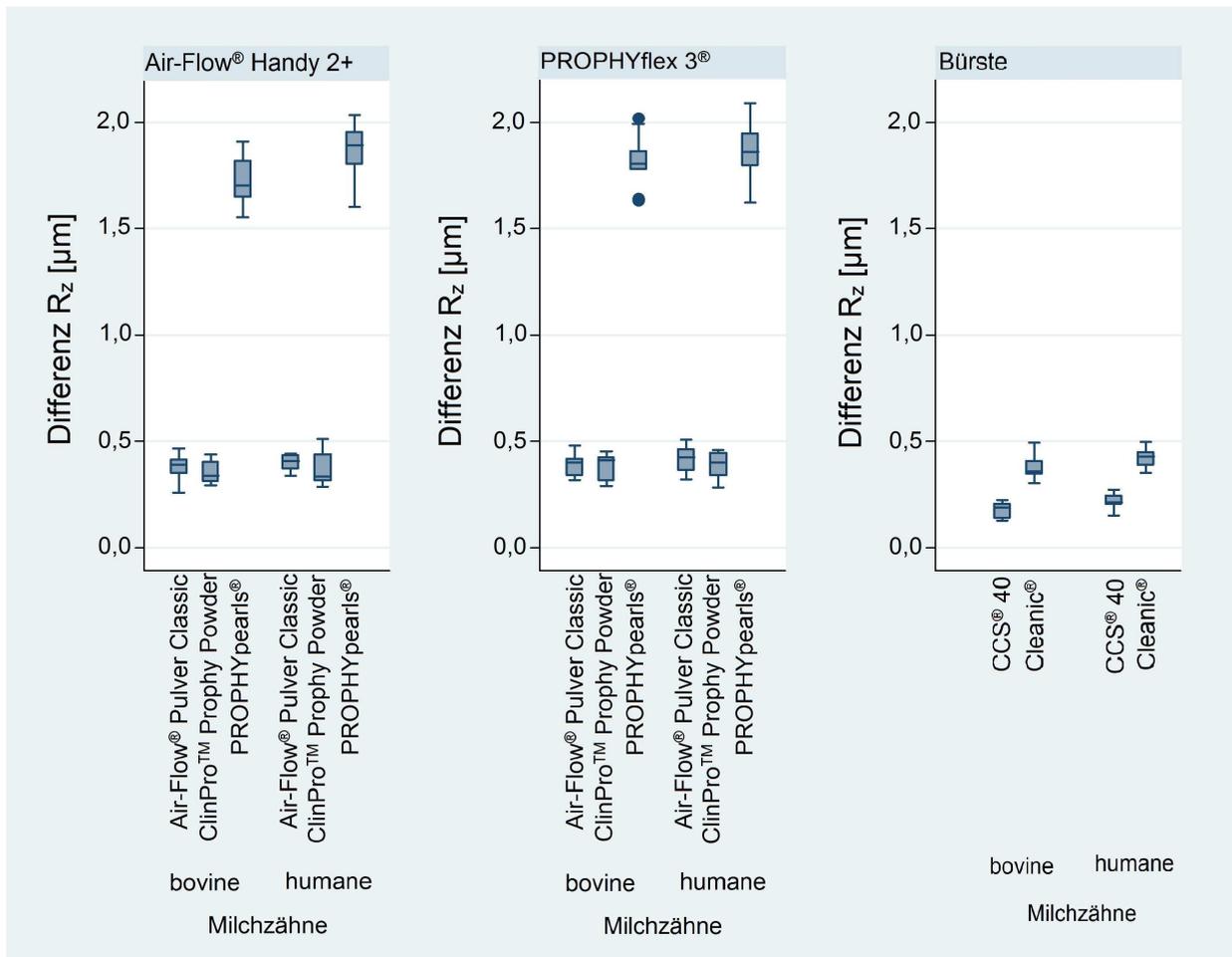


Abb. 17: Mittlere Rautiefe $R_{z,diff}$ (Differenz der R_z -Werte nach und vor Bestrahlung) boviner und humaner Milchzahnschmelzoberflächen; Strahl-/Polierdauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei Verwendung zweier PWS-Geräte (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls®) im Vergleich zur Wirkung zweier Prophylaxepasten (Cleanic® und CCS® 40) bei Bürstenanwendung.

Maximale Rautiefe R_{\max}

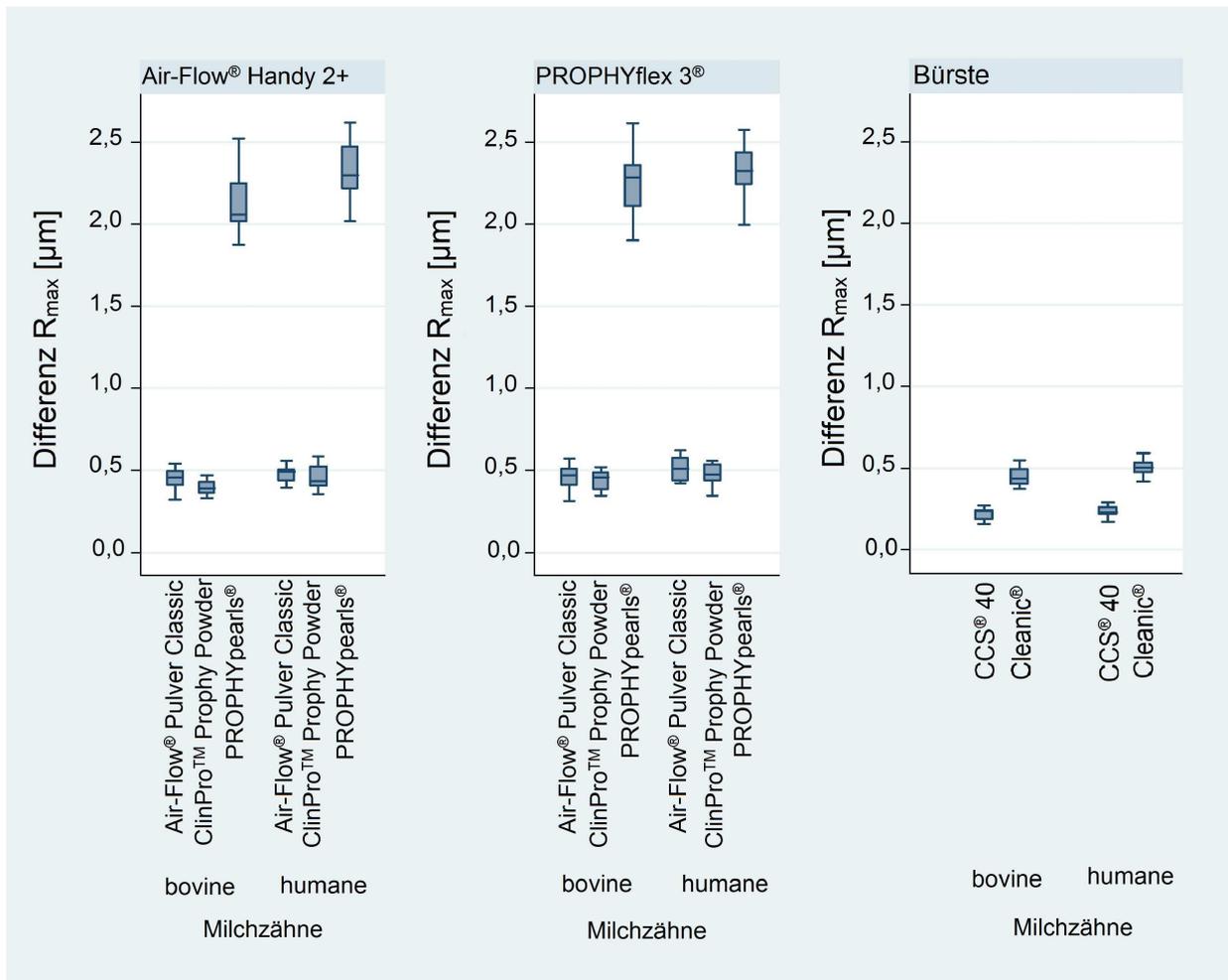


Abb. 18: Maximale Rautiefe $R_{\max,\text{diff}}$ (Differenz der R_{\max} -Werte nach und vor Bestrahlung) boviner und humaner Milchzahnschmelzoberflächen; Strahl-/Polierdauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei Verwendung zweier PWS-Geräte (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls®) im Vergleich zur Wirkung zweier Prophylaxepasten (Cleanic® und CCS® 40) bei Bürstenanwendung.

Wie in den Abbildungen 16, 17 und 18 ersichtlich, unterscheidet sich die durch Air-Flow® Pulver Classic- und ClinPro™ Prophy Powder- Wirkung sowohl bei Kälber- als auch bei menschlichen Milchzähnen erzeugte Oberflächenveränderung signifikant von dem Effekt durch CCS® 40-Paste. Die Rauigkeit durch Bestrahlung mit den Air-Flow®- und ClinPro™-Pulvern ist signifikant größer als durch Politur mittels CCS® 40-Paste. Die Wirkung von Air-Flow® Pulver Classic und ClinPro™ Prophy Powder sowie

Cleanic® zeigt keine signifikant unterschiedlichen Schmelzrauigkeiten. Das PROPHYpearls®-Pulver erzeugt dagegen signifikant größere Rauigkeiten als CCS® 40- und Cleanic®-Paste. Die Politur mit der sehr feinen Polierpaste CCS® 40 hinterlässt die glatteste Zahnoberfläche.

6.1.2 Schmelzabtrag

Die Ergebnisse der Messungen der Wellentiefe Wt als Kenngröße für den Substanzabtrag sind in Abbildungen 19 und 120 grafisch dargestellt.

Die Wellentiefe wurde bei den plan geschliffenen genauso wie bei den danach bearbeiteten Schmelzoberflächen gemessen. Das heißt, der Substanzabtrag wurde bei den plan geschliffenen Schmelzoberflächen nicht einfach gleich null gesetzt. Bei allen Methoden außer bei der Verwendung von PROPHYpearls® Pulver blieb der Schmelzabtrag im Mittel unter 11µm.

Der durch PROPHYpearls® bewirkte Schmelzabtrag unterscheidet sich signifikant von der Air-Flow® Pulver Classic- und ClinPro™ Prophy Powder-Wirkung, zwischen Air-Flow®- und ClinPro™-Pulver besteht kein signifikanter Unterschied. Grundsätzlich ist der Schmelzabtrag durch PROPHYpearls® signifikant größer als bei Air-Flow® Pulver Classic und ClinPro™ Prophy Powder (Abb. 19).

Wellentiefe

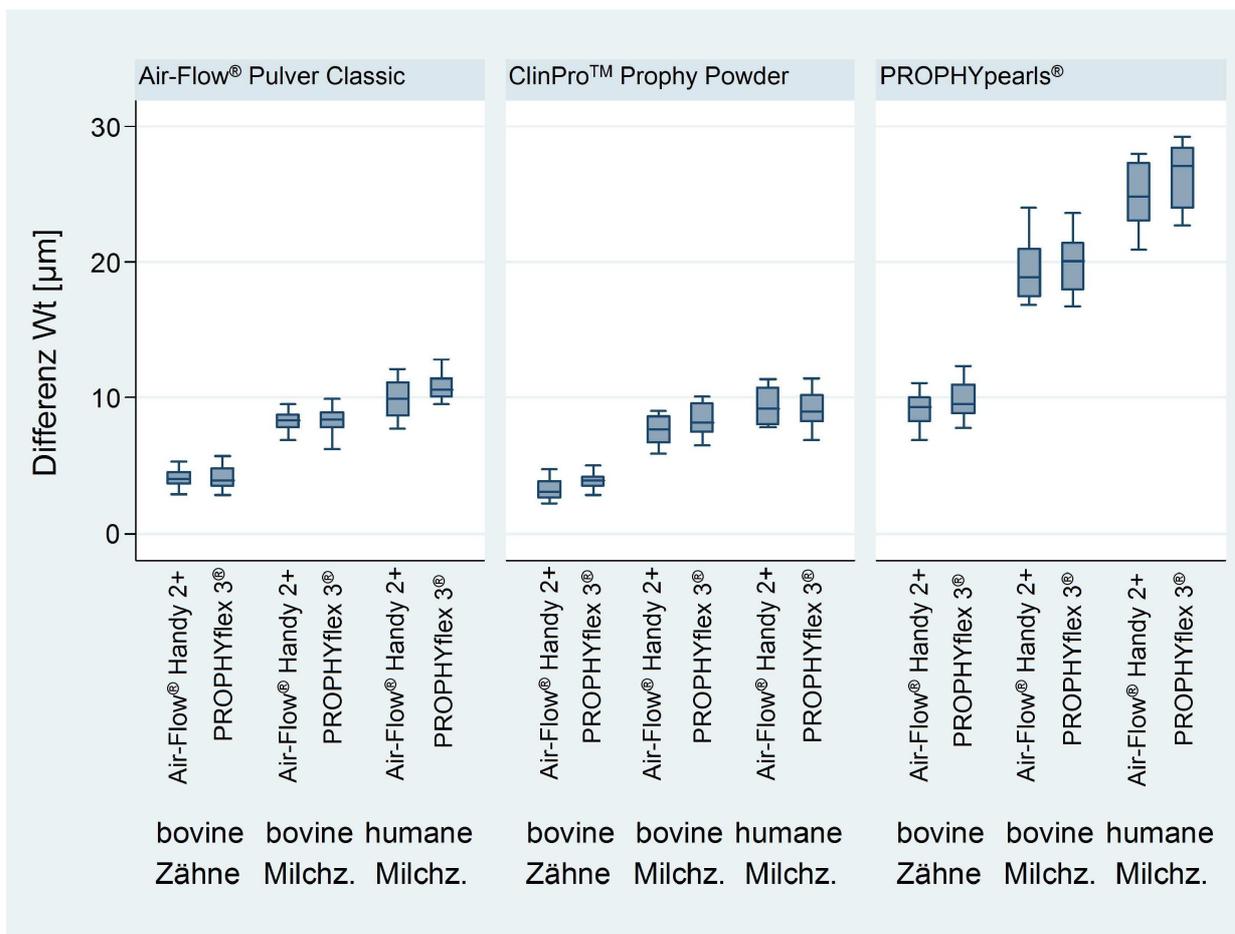


Abb. 19: Schmelzabtrag gemessen als Wellentiefe Wt_{diff} (Differenz der Wt -Werte nach und vor Bestrahlung) von bleibenden Rinderzähnen (bovinen Zähnen), Kälberzähnen (bovinen Milchzähnen) und humanen Milchzähnen; Strahldauer 60 s; Bestrahlungsabstand 5 mm; zwei PWS-Geräte (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls® Pulver).

Wellentiefe

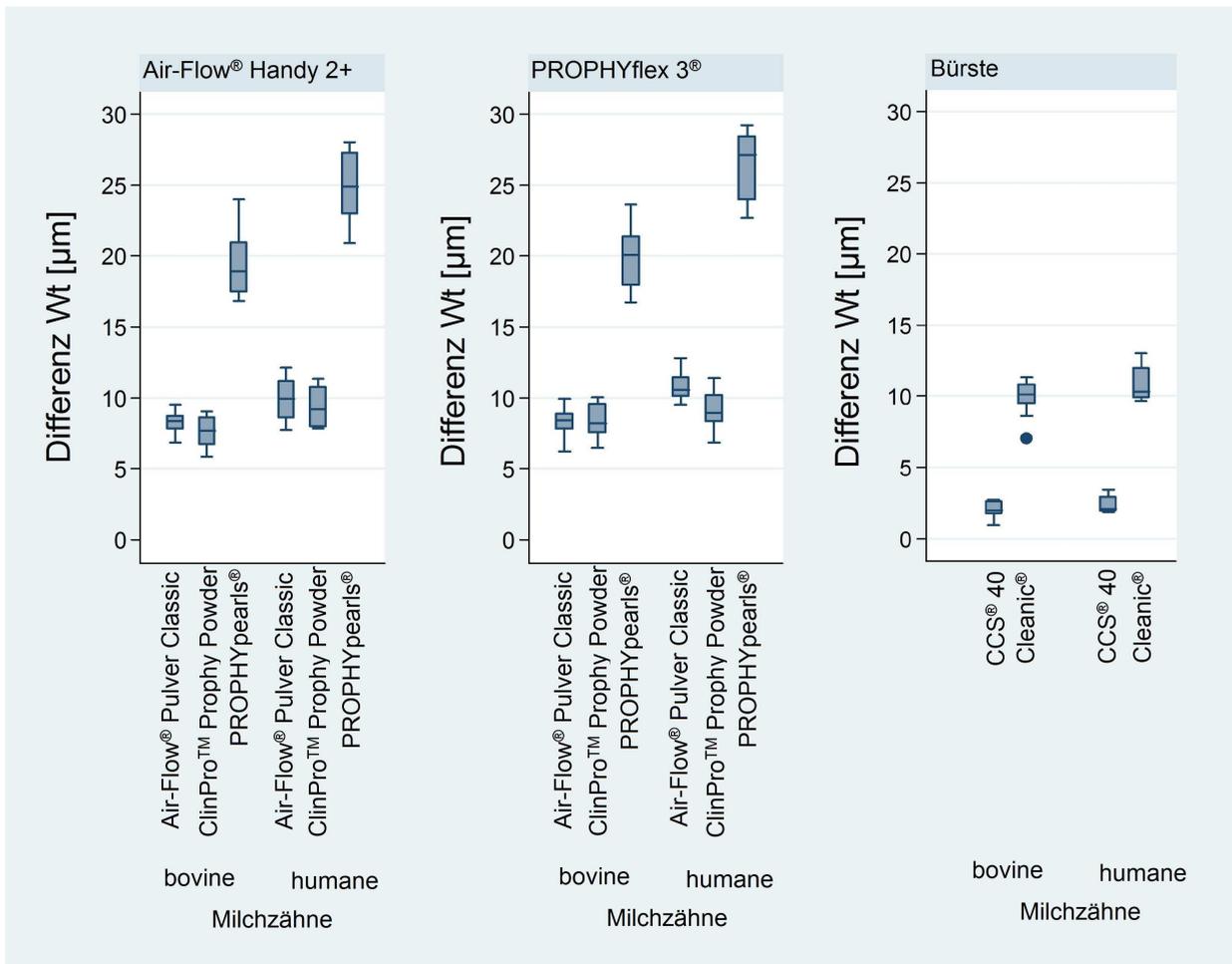


Abb. 20: Schmelzabtrag gemessen als Wellentiefe Wt_{diff} (Differenz der Wt -Werte nach und vor Bestrahlung) von Kälberzähnen (bovinen Milchzähnen) und humanen Milchzähnen; Strahl-/Polierdauer 60 s; Bestrahlungsabstand 5 mm; zwei PWS-Geräte (Air-Flow® Handy 2+ und PROPHYflex 3® bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls® Pulver) im Vergleich zur Wirkung zweier Polierpasten (Cleanic® und CCS 40®) bei Bürstenanwendung.

Sowohl bei Kälber- als auch bei menschlichen Milchzähnen ist der Schmelzabtrag von Air-Flow® Pulver Classic in Kombination mit dem Air-Flow® Handy 2+-Gerät signifikant kleiner als der Schmelzabtrag durch Cleanic®. Der Schmelzabtrag durch Air-Flow® Pulver Classic in Kombination mit dem PROPHYflex 3®-Gerät unterscheidet sich bei Kälber- und bei menschlichen Milchzähnen nicht signifikant von der Wirkung durch Cleanic®-Paste bei Bürstenanwendung.

Sowohl bei Kälber- als auch bei humanen Milchzähnen unterscheidet sich die ClinPro™ Prophy Powder-Wirkung signifikant von dem durch Cleanic® erzeugten Schmelzabtrag. Der Schmelzabtrag durch Cleanic®-Paste ist größer als durch ClinPro™ Prophy Powder-Bestrahlung. PROPHYpearls®-Pulver erzeugt auf menschlichen und bovinen Milchzähnen signifikant mehr Schmelzverlust als CCS® 40 und Cleanic®. Die Politur mit der sehr feinen Polierpaste CCS® 40 hinterlässt auf menschlichen und bovinen Milchzähnen signifikant glattere Zahnoberflächen als die untersuchten PWS/Pulver-Kombinationen (Abb. 20).

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Fragestellung

Die kieferorthopädische Behandlung mit festsitzenden Apparaturen erzeugt ein erhöhtes parodontales [71] und Kariesrisiko [119]. Die häusliche Zahnreinigung bei Multibracketpatienten ist in vielen Fällen unzureichend [10]. Eine professionelle Zahnreinigung bei Multibracketpatienten ist sehr effektiv [109] aber auch sehr arbeitsintensiv und teuer [116]. Der Einsatz von Pulver-Wasser-Strahlgeräten (PWS) als preiswerte Alternative zur professionellen Zahnreinigung ermöglicht eine Vereinfachung und Verkürzung der Arbeitszeit [116]. In der Literatur, findet man viele Belege zur Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf bleibenden Zahnschmelz [116, 169, 219]. Über die Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Milchzahnschmelz gibt es in der deutsch-, englisch- und französischsprachigen Literatur sowie in Pubmed nur eine Studie [107].

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Wirkung zweier Pulver-Wasser-Strahlgeräte mit drei Prophylaxepulvern unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung auf bovine Zähne der 1. und 2. Dentition sowie humane Milchzähne zu untersuchen und die Frage zu beantworten, ob boviner Milchzahnschmelz als Alternative für humanen Milchzahnschmelz bei In-vitro-Abrasionsstudien verwenden werden kann. Weiterhin wurden die Faktoren untersucht, die Einfluss auf die Wirkung von PWS nehmen könnten.

7.2 Diskussion der untersuchten Materialien und Geräte

Es ist schwer, gesunde menschliche Zähne in ausreichender Menge und mit ausreichender Qualität zu erhalten, da diese oftmals wegen Karies und anderer Defekte extrahiert werden [153]. Für die vorliegende Untersuchung wurden kariesfreie bovine Zähne verwendet, da kariöser Schmelz, wie er oft bei extrahierten menschlichen Zähnen vorliegt, bei PWS-Behandlung stark erodiert wird [39]. Bovine Zähne sind leichter in beliebiger Menge zu gewinnen als menschliche Zähne und weisen eine große labiale Fläche auf [263]. In der Literatur gibt es zahlreiche Belege für die große Ähnlichkeit zwischen humanem und bovinem Zahnschmelz [15, 84, 136, 240]. Krifka et

al. [136] sowie Titley und Mitarbeiter [240] zeigten, dass auch bovine Milchzähne eine geeignete Alternative für menschliche Milchzähne in Ex-vivo-Studien sind.

Zum Bestrahlen der Schmelzproben wurden zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräte verschiedener Hersteller (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®]) verwendet. Für das PROPHYflex 3[®]-Gerät und das Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät, die beide bei Studienbeginn neu auf dem Markt waren, lagen bis zur Durchführung dieser Studie in der Literatur keine Untersuchungen vor. Das PROPHYflex 3[®]-Gerät weist lediglich unbedeutende Änderungen gegenüber dem PROPHYflex 2[®] auf, wie zum Beispiel die Verringerung des Gewichtes und Verbesserung der Handlichkeit, sowie die Verwendung von Kunststoff anstelle von Glas für den Pulverbehälter, die Verkürzung des Grundkörpers um 10 % und eine Änderung des Materials der Multiflex-Kupplung von Metall in Kunststoff. Die Kanüle des PROPHYflex 3[®]-Gerätes entspricht der Kanüle des PROPHYflex 2[®]-Gerätes. Da die Veränderungen keine entscheidenden Eigenschaften hinsichtlich der Wirkungsweise des Gerätes erwarten lassen, kann davon ausgegangen werden, dass die hier gewonnenen Resultate mit den Ergebnissen von Nedwed [169] vergleichbar sind, die mit dem PROPHYflex 2[®] gearbeitet hat.

Prophylaxepulver unterschiedlicher Hersteller sind auf dem Markt erhältlich. Alle Hersteller versprechen ein substanzschonendes Bestrahlen und eine effektive Entfernung von Verfärbungen mit den jeweiligen Pulvern. Für die vorliegende Studie wurden drei Prophylaxepulver (Air Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®]) ausgewählt. Diese Pulver unterscheiden sich neben ihren chemischen Eigenschaften in der Partikelform und -größe sowie Löslichkeit.

Nach Angaben der Hersteller weisen die Partikel eine maximale Korngröße von ungefähr 63 µm für Air-Flow[®] Pulver Classic [75], 45 µm für ClinPro[™] Prophy Powder [1] und 70 µm für PROPHYpearls[®] Pulver [123] auf. Wimmer [259] und Altmaier [5] haben in Ihren Dissertationen beschrieben, dass die Pulverkörner von Air-Flow[®] Pulver Classic uneinheitlich sind und bis zu 200 µm erreichen. Die Körner von ClinPro[™] Prophy Powder besitzen eine längliche Struktur und weisen eine matte, aber homogene Oberfläche auf. Einige Pulverkörner erreichen bis zu 100 µm [259]. Nach Wimmer [259] besitzen die Partikel von PROPHYpearls[®] Pulver eine sphärische Form, weisen eine unebene und raue Oberfläche auf und haben einen Durchmesser bis zu 80 µm. Pelka et al. [182] erwähnten in ihrer Arbeit eine durchschnittliche Partikelgröße von ungefähr 60 µm für Air-Flow[®] Pulver Classic, 25 µm für ClinPro[™] Prophy Powder und 45 µm für PROPHYpearls[®] Pulver.

Als Vergleich mit der konventionellen Zahnreinigung wurden in der vorliegenden Arbeit zwei Prophylaxepasten in Kombination mit rotierenden spitzen Nylonbürsten verwendet. Eine ideale Reinigungspaste sollte gleichzeitig reinigen und polieren [144]. Die Forderung nach einer guten Reinigungseffizienz und gleichzeitiger Oberflächenglättung lässt sich mit den bis heute bekannten Putzkörpern jedoch kaum erfüllen. Korrekterweise müssen deshalb im Rahmen der professionellen Zahnreinigung stets mindestens zwei Pasten benutzt werden, eine zur Reinigung und eine zur Politur [144]. Das System aus den vier aufeinander abgestimmten CCS-Pasten erfüllt diese Forderung optimal. Jost-Brinkmann [116] beschränkte seine Untersuchung auf die gröberen Pasten CCS[®] 250 und CCS[®] 170 und fand genauso wie Hosoya und Johnston [107] dass, die Pasten CCS[®] 250 und CCS[®] 170 aggressiver auf Zahnschmelz wirken als die von ihnen untersuchte PWS; sie dürfen daher nicht zum Polieren angewendet werden. Dagegen untersuchte Nedwed [169] die feineren Pasten CCS[®] 120 und CCS[®] 40 und bestätigte Hosoya und Johnston [107] bezüglich der guten Polierfähigkeit der CCS[®] 40-Paste.

Cleanic[®]-Paste wird in vielen Praxen angewendet, weil sie in einem Arbeitsgang reinigen und polieren soll [144]. Eine perlithaltige Paste wie Cleanic[®] ist nach Lutz et al. [144] das Mittel der Wahl, wenn die Zahnreinigung mit einer einzigen Paste erfolgen soll. Daher wurde in die vorliegende Studie eine Vergleichsgruppe mit Cleanic[®]-Paste einbezogen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wirkung der Pasten CCS[®] 40 und Cleanic[®] auf bovine und menschliche Milchzähne untersucht. Die Wirkung auf Rinderzähne wurde schon von Jost-Brinkmann [116] und Nedwed [169] gemessen. Jost-Brinkmann [116] stellte eine akzeptable Polierwirkung der Cleanic[®]-Paste auf Rinderzähne fest, da die mit Cleanic[®] bearbeitete Schmelzoberflächen signifikant glatter waren, als die mit CCS[®] 170 oder CCS[®] 250 bearbeiteten. Jedoch hinterließ nach Nedwed [169] die mittels Bürste applizierte Paste Cleanic[®] deutlich rauere Oberflächen als die Paste CCS[®] 40 mit Gummipolierer. Cleanic[®]-Paste mit Bürstenanwendung bewirkte nicht nur rauere Schmelzoberflächen, sondern rief auch den größten Schmelzabtrag hervor [169]. Jene Pasten, die rauere Oberflächen erzeugen, führen auch zu einem größeren Substanzverlust [116]. Dies gilt auch für die Pulver-Wasser-Strahlgeräte [116, 147, 169].

7.3 Diskussion der untersuchten Methoden

Um iatrogene Schäden wie zum Beispiel Schmelzrisse zu vermeiden, wurden die Kronen mit einer rotierenden wassergekühlten Diamantscheibe in Höhe des Zahnhalses schonend von den Rinder- bzw. Kälberkiefer abgetrennt. Zähne mit sichtbaren Rissen wurden nicht verwendet. Das Einbetten der Zahnkronen in Epoxidharz ließ deren Labialflächen frei und ermöglichte eine sichere Fixierung zum Polieren sowie für die späteren Messungen

Um gleiche Ausgangsbedingungen auf allen untersuchten Zähnen zu schaffen, wurden die Zähne unter ständiger Wasserkühlung mittels SiC-Papier auf einer Tellerschleifmaschine planpoliert. Visuell wurde sichergestellt, dass dabei kein Dentin freigelegt wurde, da die Ergebnisse aufgrund der anderen Eigenschaften des Dentins verfälscht worden wären. Die planpolierten Schmelzflächen lagen trotzdem in Abhängigkeit von der Wölbung des Zahnes unterschiedlich tief unter der ursprünglichen Schmelzoberfläche. Ein Einfluss der Bearbeitungstiefe des Schmelzes ist somit nicht auszuschließen. Durch die Politur wird die 30 µm dicke, prismenfreie, härtere, dichter mineralisierte oberflächlichste Schicht entfernt, die an allen Milchzähnen und 70 % der bleibenden Zähne zu finden ist [204]. Die planpolierten Zähne sind weniger resistent gegenüber einer Bearbeitung, da die Schmelzhärte kontinuierlich von der oberflächlichsten Schicht bis zur Schmelz-Dentin-Grenze abnimmt [129]. So wurden nach PWS-Anwendung auf zuvor planpolierten Schmelzoberflächen stärkere Rauigkeiten sowie höhere Substanzverluste gefunden als auf unbehandeltem Schmelz [39, 214].

Nach Genete et al. [89] sind an nassen Schmelzproben in vitro gewonnene Ergebnisse gut auf die Verhältnisse in der Mundhöhle zu übertragen. In der Literatur wurden die Zähne in verschiedenen Medien gelagert. Als Lagerungsmedium wurden Leitungswasser [113], 0,9%ige Natriumchloridlösung (Kochsalzlösung) [139], 10%ige Formalinlösung [92] und 0,1%ige Thymollösung [116, 169, 184, 209, 242] verwendet. Thymol verhindert, anders als physiologische Kochsalzlösung, nicht nur eine Dehydration der Zähne, sondern hemmt auch das bakterielle Wachstum und spielt eine wichtige Rolle bei der Vermeidung einer Kontamination des Untersuchers mit infektiösem Zahnmaterial [178]. Thymollösung scheint die Beschaffenheit von Schmelz und Dentin nicht zu verändern und ist deshalb eine verbreitete Lagerungssubstanz bei

In-vitro-Studien [32, 116, 169, 242]. Deswegen erfolgte auch hier die Lagerung der Prüfkörper in 0,1%iger Thymollösung.

Die Arbeitsparameter üben einen großen Einfluss auf das Ausmaß der durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte erzeugten Defekte aus. Strahlabstand, Strahlwinkel, Expositionsdauer, Geräteeinstellung bezüglich des Luftdrucks und der Flussraten von Pulver und Wasser sowie die chemische Zusammensetzung und Partikelgröße des verwendeten Pulvers spielen dabei eine wichtige Rolle [73, 121, 187, 189].

Der Strahlabstand betrug in der vorliegenden Untersuchung $5 \pm 0,5$ mm. Dies wurde mit Hilfe eines Blockes aus Kunststoff mit eingefräster Auflage für das Pulver-Wasser-Strahl-Handstück gewährleistet. Um bei der Simulation die klinischen Bewegungen des Strahles auf der Zahnoberfläche wie in vivo nachzuahmen, wurde die Metallvorrichtung samt Prüfkörper bei feststehendem Gerät auf der Tischebene unter der Düse manuell hin und her bewegt. Durch die Vorpolitur mit SiC-Papier war die plane Schmelzoberfläche parallel zur Prüfkörperunterseite und somit zur Tischebene und so blieb der Düsenabstand dabei unverändert.

Ein Abstand zwischen PWS-Düse und Zahnoberfläche von 4 bis 5 mm wird in der Literatur mehrfach empfohlen [48, 116, 160, 169, 183]. Die meisten Arbeiten untersuchten Abstände zwischen 2 und 5 mm [116, 151, 160, 182, 187, 257]. Verschiedene Autoren [111, 188, 189, 249] wiesen experimentell einen Zusammenhang zwischen dem Abstand der Düsenöffnung zur Oberfläche, dem Gasdruck, der Wassermenge, der Reinigungsdauer und der daraus resultierenden Wirkung eines Pulver-Wasser-Strahlgerätes nach.

In der Literatur werden verschiedene Strahlwinkel in Abhängigkeit von der zu reinigenden Zahnfläche empfohlen: 80° für die Molaren und Prämolaren und 60° für Labialflächen der Schneidezähne [160]. Indes werden einzelne Zahnflächen immer auch senkrecht bestrahlt, wenn Winkel zwischen 60° und 80° angestrebt werden. Nach Petersilka et al. [188] wirkt sich der Strahlwinkel nicht signifikant auf die Defekttiefe aus. Die Betriebsanleitung des Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät [74] empfiehlt einen Strahlwinkel zwischen 30° und 60° , während für das PROPHYflex 3[®]-Gerät zwischen 60° und 90° empfohlen wurden [122]. Ein Strahlwinkel von 90° wurde in mehreren Studien verwendet [48, 116, 151, 169, 182, 183, 187, 256, 259]. Da dieser Wert in vitro am einfachsten einzustellen und zu kontrollieren, wurde auch in der vorliegenden Studie ein Winkel von 90° festgelegt.

In den meisten Arbeiten zu den Wirkungen anderer PWS werden leider keine genauen Angaben über die verwendeten Einstellungen gemacht. Die umfangreichste Arbeit unter Einbeziehung von vier weit verbreiteten PWS (Air-Flow[®]-S1, Prophy-Jet[®]-30, Prophy-Unit[®], Clean-Jet[®]) und genauer Abgrenzung der einzelnen benutzten Einstellungen ist die von Jost-Brinkmann [116]. Der Autor fand teilweise Unterschiede in der Rauheit nach Bestrahlung mit verschiedenen Pulver- und Wassereinstellungen. Ein eindeutiger Zusammenhang zur verwendeten Einstellung (im klinisch relevanten Bereich) war aber nur beim Clean-Jet[®]-Gerät zu erkennen. Er konnte somit keine klaren praktischen Empfehlungen für eine bevorzugte Einstellung geben. Dies ist aber auch von untergeordneter Bedeutung, weil alle Geräte (ausgenommen das Clean-Jet[®]-Gerät) unabhängig vom gewählten Pulver-Wasser-Verhältnis stets glattere oder zumindest genauso glatte Oberflächen hinterließen wie die Schmelzbearbeitung mit den drei von ihm untersuchten Prophylaxepasten (darunter Cleanic[®]). In der vorliegenden Arbeit wurde der Luftdruck der Multiflex-Kupplung für die beiden Pulver-Wasser-Strahlgeräte auf 3,8 bar eingestellt (beide Hersteller [74, 122] empfehlen einen Luftdruck zwischen 3,5 und 4,5 bar). Die Wasser-Einstellung stand stets auf Maximum. Diese Einstellung entspricht auch gleichzeitig der einfachsten Einstellung (beim PROPHYflex 3[®]-Gerät und dem Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät kann man dies durch die Gegenüberstellung der beiden roten Punkte am Ring der Multiflex-Kupplung erreichen). Es hat sich gezeigt, dass das Pulver/Luft/Wasserverhältnis (außer beim Clean-Jet[®]-Gerät und minimaler Wassereinstellung bei einigen weiteren Geräten) keinen eindeutigen Effekt auf die Wirkung der PWS hat [116].

Verschiedene Autoren [116, 189] stellten fest, dass die austretende Pulvermenge vom Pulverfüllstatus der Kammer abhängt. Da die Pulveraustrittsrates einen wichtigen Einfluss auf die Abrasivität der bestrahlten Flächen hat [189], wurde die Pulverkammer in der vorliegenden Arbeit vor jedem Versuch maximal gefüllt. Man kann davon ausgehen, dass die PWS-Wirkung bei sinkendem Füllstand durch den abnehmenden Pulveranteil im Wasser-Luft-Gemisch weniger aggressiv ist. Somit braucht man klinisch nicht mit einem größeren Schmelzabtrag zu rechnen, als dem hier bestimmten.

Die Bearbeitungsdauer einer Fläche von $7 \times 2 \text{ mm}^2$ wurde in Anlehnung an Jost-Brinkmann [116] und Nedwed [169] auf 60 s festgelegt. Entsprechend wurde zum Vergleich die Bearbeitungszeit mit den Prophylaxepasten genauso lang gewählt wie die Bestrahlung mit dem PWS. Sie sollte die zu erwartende Bearbeitungszeit während einer vierjährigen kieferorthopädischen Behandlungszeit mit Anwendung eines PWS-

Gerätes bei den Kontrollterminen aller vier bis fünf Wochen simulieren: Der Schlitz in der verwendeten Vorrichtung definiert die Bearbeitungsfläche von 14 mm^2 ($7 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$). Die Dauer der Bestrahlung dieses Areal sollte der klinischen Anwendung eines PWS-Gerätes zur Zahnreinigung auf diesem Flächenanteil entsprechen. Nach Miethke [158] ist die Breitensumme aller Zähne (Oberkiefer und Unterkiefer von M1 bis M1) bei Mädchen $176,4 \text{ mm}$ und die durchschnittliche Kronenlänge beträgt 7 mm [93], dadurch erhält man für die Vestibulärflächen der Zahnkronen insgesamt eine Fläche von $1233,8 \text{ mm}^2$. Der 88,1te Anteil dieser Gesamtfläche entspricht also der Größe der Schlitzblende ($1233,8 \text{ mm}^2 \div 14 \text{ mm}^2 = 88,12$). Basierend auf einer Gesamtreinigungsdauer von ca. 180 s [121] für ein vollständiges Gebiss entfällt bei Patienten mit vestibulären festsitzenden Apparaturen eine Zeit von 120 s auf die Labial- und Bukkalflächen der Zähne, also doppelt so viel wie auf die Oralflächen. Die Strahldauer für eine Fläche in der Größe des Schlitzes beträgt somit $1,36 \text{ s}$ ($120 \text{ s} \div 88,12 = 1,36 \text{ s}$) bei einer einzelnen Zahnreinigung. Die Zeit von 60 s Bearbeitung für den Schlitz entspricht demnach $44,1$ Zahnreinigungen mittels PWS ($60 \text{ s} \div 1,36 \text{ s} = 44,1$). Die in der vorliegenden Studie gewählte Strahldauer entspricht unter den getroffenen Annahmen bei einem vierwöchigen Anwendungsintervall einer vierjährigen Behandlungszeit. Selbst wenn bei schlechter Mundhygiene doppelt so lange gestrahlt werden muss, überschätzen die gewonnenen Daten die PWS-Wirkung auf Schmelz eher als sie zu unterschätzen, weil professionelle Zahnreinigungen mittels Pulver-Wasser-Sprühgeräten in der Praxis in längeren Intervallen als den hier angenommenen vier Wochen durchgeführt werden.

Die hier festgelegte Bestrahlungsdauer ist geringfügig höher als die in Wirklichkeit zu erwartende:

- Die Bestrahlungszeit von 180 s basiert auf einem vollbezahnten Gebiss. Die den Berechnungen zu Grunde gelegte Breitensumme der Zähne exkludiert die zweiten und dritten Molaren. Es wurde auch vernachlässigt, dass es sich um gewölbte und nicht um plane Zahnoberflächen handelt. Die in 180 s gereinigte Gesamtoberfläche ist somit in vivo größer und der entsprechende Flächenanteil für einen Schlitz und die darauf entfallende Zeit kleiner.
- Die Bestrahlung wird so lange durchgeführt, bis Beläge und Plaque entfernt sind. Man geht von einer Strahldauer von 180 s für ein stark plaquebehaftetes Gebiss aus, sodass bei günstigeren Verhältnissen eine geringere Zeit ausreichen wird.

- Falls Mundhygiene-Instruktionen erfolgreich sind, ist eine PWS-Anwendung nicht bei jedem Kontrolltermin notwendig. Somit wird die Gesamtexpositionsdauer verringert.

Weil der Substanzverlust proportional zur Bestrahlungszeit steigt, sind die gemessenen Abrasionswerte möglicherweise geringfügig höher als der reale Schmelzabtrag nach vierjähriger Behandlung.

Rauigkeitsmessungen

Die mechanische Profilometrie ist ein anerkanntes Tastschnittverfahren für Oberflächenuntersuchungen. In der Literatur wurden zur quantitativen Bestimmung der Wirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf Zahnhartsubstanzen die computergestützte Laserprofilometrie [48, 116, 169, 187] oder die mechanische Profilometrie [90, 116, 151] angewendet. Außerdem wurden die Zahnoberflächen rasterelektronenmikroskopisch [48, 63, 182, 220] beurteilt. Der in dieser Studie verwendete MFW-Taster für Rauheits- und Welligkeitsmessungen zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus: hohe Linearität ($< 1\%$) und großer Messbereich ($\pm 250\mu\text{m}$).

Alle Messungen der Oberflächenrauigkeit (R_a , R_z , R_{max}) wurde nach ISO 4287 durchgeführt. Da die plane Schmelzoberfläche durch die Vorpolitur parallel zur Prüfkörperunterseite und somit zur Tischebene war, konnte die Schmelzoberfläche vor dem Abtasten in einer horizontalen Lage justiert werden. Die Tastspitze fuhr senkrecht über die Schmelzoberfläche. Auf der vermessenen Probenseite wurden stets drei separate Rauigkeitsscans durchgeführt: einer im nicht bestrahlten Teil und ein zweiter zwischen bestrahltem und unbestrahltem Teil sowie ein dritter in der bestrahlten Hälfte der Prüfkörper. Zur Bestimmung des Schmelzabtrags wurde auf der gleichen Linie wie bei den vorhergehenden Messungen eine weitere Messung von 4,5 mm Länge durchgeführt. Die Messung fing in der unbestrahlten Fläche an, führte über die bestrahlte Fläche und endete wieder in der unbestrahlten Fläche. Zur Frage, ob es durch die Bewegung des Tasters zu einer Oberflächenveränderung kommen kann, fanden Pelka et al. [181] rasterelektronenmikroskopisch nach fünfzigfacher Oberflächenabtastung von Hartgips in derselben Spur Rillen, die aber keinen nennenswerten Einfluss auf die gemessene Rauheit hatten. Da in der vorliegenden Studie höchstens zwei Abtastungen an derselben Stelle durchgeführt wurden, dürfte dieser Effekt daher zu vernachlässigen sein.

Das mechanische Abtastverfahren, bei dem eine kegel- oder kugelförmige Tastspitze über die Oberfläche gleitet, wird oft verwendet. Diese Tastspitze vermag nicht oder nicht vollständig in Risse oder Riefen einzudringen, und misst daher eine geringere Rauheit, während optische Mikrotaster berührungslos nach dem Prinzip der dynamischen Fokussierung arbeiten und aufgrund der starken Fokussierung selbst geringste Oberflächenunregelmäßigkeiten und feinste Strukturrisse erfasst. Somit werden eher höhere Rauheitswerte in Studien zu erwarten sein, in denen optische Mikrotaster verwendet werden, als in Studien mit mechanischen Messungen. Anders als bei berührungslosen Messungen kann mit dem mechanischen Taster auf sehr harten Materialien wie dem untersuchten Zahnschmelz eine Verformung der Tastspitze während der zahlreichen Messungen nicht ausgeschlossen werden.

Rauigkeitsmesswerte, die mittels optischer Mikrotaster bzw. mechanischer Taster gewonnen werden, sind nur bedingt vergleichbar [116, 169].

Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde Stata/IC 11.2 für Windows verwendet. Die grafische Darstellung der Resultate für $R_{a,diff}$, $R_{z,diff}$, $R_{max,diff}$ und $Wt_{,diff}$ erfolgte mittels Box-Whiskers-Plots, um die Verteilung der Messwerte zu visualisieren. Da in Box-Whiskers-Plot der Median angezeigt wird, wurden in Tabelle 6 die Mittelwerte und Standardabweichungen als zusätzliche Informationen angegeben.

In der vorliegenden Studie wurden parametrische Testverfahren verwendet. Da der F-Test recht robust gegen die Verletzung der Normalverteilungsannahme ist [208], wurde mithilfe des F-Tests ermittelt, welcher der Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Nachher–vorher-Differenz hat. Mit der Bonferroni-Holm-Adjustierung erfolgte der Vergleich trotz multipler Testung paarweise auf dem 5%-Signifikanz-Niveau.

Alternativ hätte man bei den Varianzanalysen, bei denen nur ein Faktor (ein Effekt) untersucht wird, nonparametrische Tests verwenden können. Statt des F-Tests hätte man den Kruskal-Wallis-Test benutzen können und bei den paarweisen Vergleichen den Mann-Whitney-U-Test.

Der Vorteil der nonparametrischen Verfahren gegenüber den parametrischen Verfahren ist, dass keine Verteilungsannahme benötigt wird. Der Nachteil der nonparametrischen Verfahren gegenüber den parametrischen Verfahren ist, dass sie eine geringere Power haben, das heißt, die Wahrscheinlichkeit, dass signifikante Unterschiede als solche erkannt

werden, ist bei nonparametrischen Verfahren geringer als bei parametrischen Verfahren. Die geringere Power zeigt sich vor allem bei kleinen Stichproben, was in der vorliegenden Studie der Fall ist. Ein weiterer Nachteil der nonparametrischen Verfahren ist, dass es hier nicht ohne weiteres möglich ist, mehr als einen Faktor zu berücksichtigen.

7.4 Diskussion der Wirkung einer PWS-Behandlung auf Zahnschmelz im Vergleich zu konventioneller Politur

In der vorliegenden Studie wurde die mittlere Rautiefe der mittels Polierautomat plangeschliffenen und hochglanzpolierten Schmelzflächen sowohl durch die getesteten Polierpasten als auch jede untersuchte PWS-Anwendung erhöht. Das bestätigt die Ergebnisse anderer Studien [48, 151, 256].

Gerät

Das PROPHYflex 3[®]-Gerät erzeugte in Bezug auf alle gemessenen Rauheitsparameter (bei Verwendung des gleichen Pulvers) rauere Oberflächen bzw. mehr Schmelzabtrag als das Air-Flow[®] Handy 2+. Dies bestätigt die Ergebnisse der Studie von Pelka et al. [182]. 1989 verglichen Hosoya und Johnston [107] zwei PWS-Geräte verschiedener Hersteller und waren die ersten, die feststellten, dass die Wirkung von PWS deutlich geräteabhängig ist. Nach Petersilka et al. [189] beeinflusst einerseits das Design der Pulverkammer des Gerätes die Menge an Pulver, die den Zahn bestrahlt. Auf der anderen Seite spielt die Düsenöffnung eine wichtige Rolle. Der Pulverstrahl des Air-Flow[®] Handy 2+-Gerätes ist weniger konzentriert als der Strahlkegel des PROPHYflex 3[®]-Gerätes. Dies ist vermutlich die Ursache warum das Air-Flow Handy 2+ zu wesentlich weniger Abrasion führt [182]. Keines der untersuchten PWS-Geräte war aggressiver als die zum Vergleich herangezogene Prophylaxepaste Cleanic[®].

Pulver

PROPHYpearls[®] soll laut Hersteller besonders schonend zu den Zähnen sein, da spitze Kanten fehlen [253]. In der vorliegenden Studie verursachte PROPHYpearls[®] Pulver hinsichtlich Rauheit und Schmelzabtrag gegenüber den anderen beiden Prophylaxepulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic und ClinPro[™] Prophy Powder) die höchsten Werte auf allen untersuchten Schmelzoberflächen. Das PROPHYpearls[®]-Pulver hat binnen einer Minute im Mittel 19,72 µm Schmelz bei bovinen Milchzähnen

und 25,68 µm bei menschlichen Milchzähnen abgetragen. Die Durchschnittsdicke des Zahnschmelzes bei humanen Milchzähnen beträgt 1,14 mm [65]. Das heißt, dass die Verwendung des PROPHYpearls[®]-Pulvers während einer 4-jährigen Multibracket mit regelmäßiger Anwendung (4 Wochen) einen Schmelzabtrag von 0,026 mm (zirka 2,28 %) zur Folge hat. Dieser Substanzverlust ist ungefähr 2- bis 2,5-fach höher als der durch die Prophylaxepaste Cleanic[®]. PROPHYpearls[®]-Pulver ist klinisch akzeptabel aber angesichts schonenderer Alternativen (Air-Flow[®] Pulver Classic und ClinPro[™] Prophy Powder) wird von einer Verwendung zur regelmäßigen Zahnreinigung abgeraten. Es liegen bereits einige Studien vor, die ebenfalls eine stark abrasive Wirkung von PROPHYpearls[®] feststellten [182, 187, 220]. Der Hauptgrund für das hohe abrasive Potenzial dürften die sich aus der chemischen Zusammensetzung (CaCO₃) ergebenden Unterschiede bezüglich Dichte, Elastizitätsmodul und Löslichkeit sein.

ClinPro[™]-Pulver ist laut übereinstimmenden Angaben verschiedener Autoren [182, 183, 187] deutlich weniger abrasiv, sodass mit diesem Pulver kein Substanzverlust auftreten soll. Überraschend ist jedoch, dass das ClinPro[™]-Pulver (vorwiegend Glyzin) in unserer Studie zu einer Rauheit führte, die vergleichbar dem Effekt von Air-Flow[®]-Pulver Classic (NaHCO₃) ist. Dieses unerwartete Ergebnis könnte auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein. Ob die Ursache in unterschiedlichen Chargen der Pulver, unterschiedlichen Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+, PROPHYflex 3[®]), die längere Expositionsdauer (60 s) oder senkrechter Bestrahlung liegt, kann nur spekuliert werden. Welchen Effekt ein bestimmtes Pulver auf die Zahnhartsubstanz hat, hängt von der Expositionszeit, der Abrasivität des Pulvers, dem verwendeten Luftdruck sowie dem Abstand und Strahlwinkel ab [111, 187, 189].

Grundsätzlich sollte bei Patienten mit Initialläsionen des Schmelzes von einer PWS-Verwendung von PWS abgesehen werden [132, 219]. Gesunder Schmelz – wie er bei hier untersuchten Zähnen stets vorlag – hingegen kann mit Air-Flow-Pulver (NaHCO₃) bei 5 mm Abstand zur Oberfläche alle vier Wochen zur Zahnreinigung bei Multibracketpatienten bestrahlt werden [63, 116, 169, 219].

Prophylaxepasten

Die gute Polierwirkung der CCS[®] 40-Paste wird auch durch die eigenen Resultate bestätigt. Insgesamt zeigte sich hier bei allen Rauheitskennwerten eine deutlich bessere Polierwirkung der CCS[®] 40-Paste gegenüber Cleanic[®] und den untersuchten Pulver-Wasser-Strahlgeräten. Die Paste CCS[®] 40 hinterließ erwartungsgemäß [107,

169] die glattesten Oberflächen und trug am wenigsten Schmelz ab. Dagegen führte Cleanic[®]-Paste zu einer größeren Rauheit und auch zu mehr Schmelzabtrag und somit ähnlichen Effekten wie die zum Vergleich herangezogenen PWS. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Nedwed [169] und Jost-Brinkmann [116].

In Abweichung von einer typischen In-vivo-Anwendung, wo zumeist flache Bürsten verwendet werden, kamen auf den Prüfkörpern spitze Nylonbürsten zum Einsatz. Sie erschienen vorteilhafter für eine gleichmäßige Bearbeitung der schmalen schlitzförmigen Fläche. Beim Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien ist allerdings zu beachten, dass unterschiedliche Härte und der Form der Bürsten das Ergebnis beeinflussen [116, 169]. Nach Stookey und Schemehorn [232] bewirkt eine Erhöhung der Anpresskraft von 1 N auf 3 N eine Steigerung der Abrasion um Faktor 2,5 bis 3.

Rasterelektronenmikroskopisch fanden De Boever und Vande Velde [63] glattere Schmelzoberflächen nach Prophy-Jet[®]-Bestrahlung gegenüber einer Reinigung mit einer abrasiven Reinigungspaste und einer Bürste, mit denen nach Aussage der Autoren tiefe Rillen in der Oberfläche entstanden. Auch andere Untersucher bestätigten die relativ schonende Bestrahlung von Schmelz mit diversen PWS [63, 90, 116, 169]. Bei Mahlendorf [147] erzeugte die zum Vergleich verwendete Prophylaxepaste Oralust nicht nur stärkere Aufräumung, sondern auch einen höheren Schmelzabtrag als das Air-Flow[®] II- oder das Prophy-Jet[®]-Gerät.

Zahntyp

Obwohl mehrere Autoren äußern, dass humanes und bovines Zahnmaterial sich nicht signifikant unterscheiden [168, 202, 203], findet man in der Literatur auch gegenteilige Beobachtungen. Rinderschmelz zeichnet sich im Vergleich zu menschlichem Schmelz durch einen geringeren Mineralgehalt sowie durch eine höhere Konzentration an Karbonaten aus [236]. Rinderschmelz ist poröser als menschlicher Schmelz und verfügt über eine höhere Diffusionsrate sowie ein schnelleres Fortschreiten von kariösen Läsionen [72].

Über die große Ähnlichkeit zwischen bovinen und humanen Zähnen bezüglich Morphologie, chemischer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften liegt eine Reihe von Untersuchungen vor [44, 216, 217]. Bovine Milchschnidezähne zeigen weniger Unebenheiten als die bleibenden Rinderschnidezähne und ähneln in Größe und Aussehen eher den menschlichen oberen mittleren bleibenden Schneidezähnen [175]. Trussi et al. [245] fanden keinen signifikanten Unterschied in der Mikrohärtigkeit

zwischen humanem und bovinem Zahnschmelz. Nach Attin et al. [15] unterschied sich bei einer In-vitro-Abrasions-Studie der Zahnschmelzverlust von humanem Zahnschmelz nicht von dem boviner bleibender Zähne.

Allerdings unterscheiden sich Rinder- und menschlicher Zahnschmelz in einigen Aspekten: Die Kristallite in Rinderschmelz sind 1,7-mal dicker [8] und Rinderzähne haben eine breitere interprismatischen Region [72].

Für die Ähnlichkeit zwischen bovinen und humanen Milchzähnen sind keine entsprechenden Untersuchungen bekannt. Trotzdem wurden bovine Milchzähne in unterschiedlichen Untersuchungen als gutes Substitut für menschliche Milchzähne angesehen [15, 136, 240]. Attin et al. [15] zeigten in ihrer Untersuchung, dass bovine Milchzähne sich bei In-vitro-Abrasion-Untersuchungen genauso wie menschliche Milchzähne verhalten. Diese Substituierbarkeit von humanem Milchzahnschmelz durch bovinen Milchzahnschmelz im Rahmen profilometrischer Untersuchungen kann durch die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden. Boviner und humaner Milchzahnschmelz sind gegenüber Bestrahlung/Politur empfindlicher als der Schmelz boviner Zähne. Der Milchzahnschmelz ist weniger mineralisiert [104] und weist eine geringere Vickershärte auf [100] als der Schmelz bleibender Zähne, wodurch die größere Empfindlichkeit gegenüber Pulver-Wasser-Bestrahlung möglicherweise erklärt werden kann.

8 Schlussfolgerungen

- Zwischen den untersuchten Pulver-Wasser-Strahlgeräten bestehen deutliche Unterschiede. Das PROPHYflex[®] 3-Gerät erzeugt rauere Oberfläche und mehr Schmelzabtrag als das Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät.
- Das PROPHYflex[®] 3-Gerät und das Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät sind bezogen auf den Schmelzabtrag und die hinterlassene Oberflächenrauheit nicht aggressiver als die Prophylaxepaste Cleanic[®].
- Das Ausmaß der Oberflächenbeschädigung durch eine Pulver-Wasser-Bestrahlung ist vom verwendeten Prophylaxepulver abhängig.
- PROPHYpearls[®]-Pulver (CaCO₃) verursacht hinsichtlich der Rauheit und des Schmelzabtrages gegenüber den anderen beiden Prophylaxepulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic (NaHCO₃) und ClinPro[™] Prophy Powder (Glyzin)) die höchsten Werte auf allen untersuchten Schmelzoberflächen. Unter den hier gewählten Untersuchungsbedingungen hat PROPHYpearls[®]-Pulver binnen einer Minute im Mittel 19,72 µm Schmelz bei bovinen Milchzähnen und 25,68 µm bei menschlichen Milchzähnen abgetragen. Aufgrund seiner Abrasivität wird von einer Verwendung zur regelmäßigen Zahnreinigung – angesichts schonenderer Alternativen – abgeraten.
- ClinPro[™] Prophy Powder (Glyzin) verhält sich bezüglich Rauigkeit und Schmelzabtrag ähnlich wie Air-Flow[®] Pulver Classic (NaHCO₃). Die Aussage der Literatur, wonach ClinPro[™] Prophy Powder (Glyzin) gegenüber Schmelz sehr viel schonender ist, kann somit nicht bestätigt werden.
- Eine Nachpolitur mit der sehr feinen Polierpaste CCS[®] 40 hinterlässt signifikant glattere Zahnoberflächen im Vergleich zu PROPHYflex[®] 3 und Air-Flow[®] Handy 2+, was für eine langsame Plaquebesiedlung und Neuverfärbung der Zähne nach einer Reinigung vorteilhaft ist. Der durchschnittlich gemessene Schmelzabtrag nach einer Politur mit CCS[®] 40-Paste betrug bei bovinen Milchzähnen 2,02 µm und bei menschlichen Milchzähnen 2,39 µm.
- Boviner Milchzahnschmelz eignet sich als Substitut (Alternative) für menschlichen Milchzahnschmelz bei In-vitro-Abrasions-Studien.
- Milchzahnschmelz ist gegenüber einer Behandlung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten empfindlicher als der Schmelz bleibender Zähne. Wiederholte Pulver-Wasser-Strahl-Behandlungen in vierwöchigem Abstand bei Kindern mit

Wechselgebiss und festsitzenden Apparaturen ist möglich. Das setzt voraus, dass es keine freiliegenden Dentin- und Wurzelzementflächen gibt. Vorsicht ist außerdem bei Initialläsionen und Komposit- und Zementfüllungen geboten, da diese bei Bestrahlung deutlich stärker abradiert werden als gesunder Schmelz. Um unnötig lange Bestrahlungszeiten zu vermeiden, ist es empfehlenswert, die Beläge vor der Bestrahlung anzufärben.

- Zum Erzielen optimaler Resultate ist ein zweistufiges Vorgehen mit einer Pulver-Wasser-Bestrahlung und einer Nachpolitur mit einer feinen Polierpaste (zum Beispiel CCS[®] 40) trotz des erhöhten Zeitaufwandes zu empfehlen. Wer das mit Cleanic[®] erzielbare Politurergebnis für ausreichend hält, für den ist unter zeitökonomischer Sicht eine ausschließliche Pulver-Wasser-Bestrahlung akzeptabel. Sie liefert hinsichtlich Politur und Substanzabtrag ähnliche Ergebnisse wie eine Zahnreinigung mittels Cleanic[®]-Paste.

9 Literaturverzeichnis

1. 3M Epse ClinPro™ Prophy Powder Produkteigenschaft.
2. Agger MS, Horsted-Bindslev P, Hovgaard O (2001) Abrasiveness of an air-powder polishing system on root surfaces in vitro. *Quintessence Int* 32:407-11.
3. Ainamo J, Parvianinen K (1989) Influence of increased toothbrushing frequency on dental health in low, optimal, and high fluoride areas in Finland. *Community Dent Oral Epidemiol* 17:296-9.
4. Albandar JM, Buischi YA, Mayer MP, Axelsson P (1994) Long-term effect of two preventive programs on the incidence of plaque and gingivitis in adolescents. *J Periodontol* 65:605-10.
5. Altmaier KM (2010) Materialabrasion auf direkten zahnärztlichen Restaurationsmaterialien und Fissurenversiegeln durch verschiedene Prophylaxepulver. Zahnmed. Diss., Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
6. Andlaw RJ (1978) Oral hygiene and dental caries--a review. *Int Dent J* 28:1-6.
7. Arabaci T, Cicek Y, Ozgoz M, Canakci V, Canakci CF, Eltas A (2007) The comparison of the effects of three types of piezoelectric ultrasonic tips and air polishing system on the filling materials: an in vitro study. *Int J Dent Hyg* 5:205-10.
8. Arends J, Jongebloed WL (1978) Crystallites dimensions of enamel. *J Biol Buccale* 6:161-71.
9. Arends J, Schuthof J (1975) Fluoride content in human enamel after fluoride application and washing - an in vitro study. *Caries Res* 9:363-72.
10. Arici S, Alkan A, Arici N (2007) Comparison of different toothbrushing protocols in poor-toothbrushing orthodontic patients. *Eur J Orthod* 29:488-92.
11. Armfield JM (2010) Community effectiveness of public water fluoridation in reducing children's dental disease. *Public Health Rep* 125:655-64.
12. Atkinson DR, Cobb CM, Killooy WJ (1984) The effect of an air-powder abrasive system on in vitro root surfaces. *J Periodontol* 55:13-8.
13. Attin R, Thon C, Schlagenhaut U, Werner C, Wiegand A, Hannig C, Attin T (2005) Recolonization of mutans streptococci on teeth with orthodontic appliances after antimicrobial therapy. *Eur J Orthod* 27:489-93.

14. Attin T, Hellwig E (1999) Fluoride in der Zahnarztpraxis: Anwendung, Effektivität und Toxikologie. *Prophylaxe Impuls* 1:16-27.
15. Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A (2007) The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments. *J Dent* 35:773-7.
16. Augthun M, Tinschert J, Huber A (1998) In vitro studies on the effect of cleaning methods on different implant surfaces. *J Periodontol* 69:857-64.
17. Autio JT (2002) Effect of xylitol chewing gum on salivary *Streptococcus mutans* in preschool children. *ASDC J Dent Child* 69:81-6, 13.
18. Axelsson P, Nystrom B, Lindhe J (2004) The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol* 31:749-57.
19. Bailey LR, Phillips RW (1950) Effect of certain abrasive materials on tooth enamel. *J Dent Res* 29:740-8.
20. Banek-Himpler MK (1987) Die Auswirkungen von Pulverstrahlgeräten zur Zahnreinigung auf die Oberfläche von Zahnschmelz und Gingiva. Eine klinisch-experimentelle Untersuchung am Beispiel des Pulverstrahlgerätes Air-Flow der Firma EMS. Zahnmed Diss, Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen.
21. Barbakow F, Lutz F, Imfeld T (1987) A review of methods to determine the relative abrasion of dentifrices and prophylaxe pastes. *Quintessence Int* 23-28.
22. Barnes CM (1991) The management of aerosols with airpolishing delivery systems. *J Dent Hyg* 65:280-2.
23. Barnes CM, Hayes EF, Leinfelder KF (1987) Effects of an airabrasive polishing system on restored surfaces. *Gen Dent* 35:186-9.
24. Barnes CM, Russell CM, Gerbo LR, Wells BR, Barnes DW (1990) Effects of an air-powder polishing system on orthodontically bracketed and banded teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97:74-81.
25. Bauch J, Eder-Debye R, Michaelis W (1991) Das Mundhygieneverhalten., Zahnärzte, Institut der deutschen, Mundgesundheitszustand- und verhalten in der Bundesrepublik Deutschland. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 426.
26. Bellini HT, Arneberg P, von der Fehr FR (1981) Oral hygiene and caries. A review. *Acta Odontol Scand* 39:257-65.

27. Benson PE, Parkin N, Millett DT, Dyer FE, Vine S, Shah A (2004) Fluorides for the prevention of white spots on teeth during fixed brace treatment. *Cochrane Database Syst Rev* CD003809.
28. Berglund LJ, Small CL (1990) Effective oral hygiene for orthodontic patients. *J Clin Orthod* 24:315-20.
29. Berkstein S, Reiff RL, McKinney JF, Killoy WJ (1987) Supragingival root surface removal during maintenance procedures utilizing an air-powder abrasive system or hand scaling. An in vitro study. *J Periodontol* 58:327-30.
30. Bernimoulin JP (2003) Recent concepts in plaque formation. *J Clin Periodontol* 30 Suppl 5:7-9.
31. Bester SP, de Wet FA, Nel JC, Driessen CH (1995) The effect of airborne particle abrasion on the dentin smear layer and dentin: an in vitro investigation. *Int J Prosthodont* 8:46-50.
32. Bishara SE, Fehr DE, Jakobsen JR (1993) A comparative study of the debonding strengths of different ceramic brackets, enamel conditioners, and adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 104:170-9.
33. Black RB (1945) Technic for nonmechanical preparation of cavities and prophylaxis. *J Am Dent Assoc* 32:955-965.
34. Black RB (1950) Airabrasive: some fundamentals. *J Am Dent Assoc* 41:701-710.
35. Black RB (1955) Application and reevaluation of air abrasive technic. *J Am Dent Assoc* 50:408-14.
36. Bohannon HM (1983) Caries distribution and the case for sealants. *J Public Health Dent* 43:200-4.
37. Bonte E, Deschamps N, Goldberg M, Vernois V (1988) Quantification of free water in human dental enamel. *J Dent Res* 67:880-2.
38. Bown WH (1990) Mechanisms of action of known plaque inhibitors. *Z Stomatol* 87 (Suppl 5):19-23.
39. Boyde A (1984) Airpolishing effects on enamel, dentine, cement and bone. *Br Dent J* 156:287-91.
40. Brading MG, Cromwell VJ, Green AK, DeBrabander S, Beasley T, Marsh PD (2004) The role of Triclosan in dentifrice formulations, with particular reference to a new 0.3% Triclosan calcium carbonate-based system. *Int Dent J* 54:291-8.
41. Buonocore MG (1955) A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34:849-53.

42. Burt BA, Eklund SA, Morgan KJ, Larkin FE, Guire KE, Brown LO, Weintraub JA (1988) The effects of sugars intake and frequency of ingestion on dental caries increment in a three-year longitudinal study. *J Dent Res* 67:1422-9.
43. Burt BA, Szpunar SM (1994) The Michigan study: the relationship between sugars intake and dental caries over three years. *Int Dent J* 44:230-40.
44. Camargo CH, Bernardineli N, Valera MC, de Carvalho CA, de Oliveira LD, Menezes MM, Afonso SE, Mancini MN (2006) Vehicle influence on calcium hydroxide pastes diffusion in human and bovine teeth. *Dent Traumatol* 22:302-6.
45. Cardoso-Silva C, Barberia E, Ramos Atance JA, Maroto M, Hernandez A, Garcia-Godoy F (2011) Microbiological analysis of gingivitis in pediatric patients under orthodontic treatment. *Eur J Paediatr Dent* 12:210-4.
46. Casey SE (2000) Impact of fluoride on dental health. *Dent Assist* 69:28-33; quiz 34-5.
47. Castagnola L, Wirz J, Garberoglio R (1983) Die Reinigung der Schmelzoberfläche von Plaques und starken Verfärbungen mit dem Prophy-Jet®. *Quintessenz* 34:963-972.
48. Castanho GM, Arana-Chavez VE, Fava M (2008) Roughness of human enamel surface submitted to different prophylaxis methods. *J Clin Pediatr Dent* 32:299-303.
49. Chestnut IG, Jones PR, Jacobson AP, Schafer F, Stephen KW (1995) Prevalence of clinically apparent recurrent caries in Scottish adolescents, and the influence of oral hygiene practices. *Caries Res* 29:266-71.
50. Chestnut IG, Schafer F, Jacobson AP, Stephen KW (1998) The influence of toothbrushing frequency and post-brushing rinsing on caries experience in a caries clinical trial. *Community Dent Oral Epidemiol* 26:406-11.
51. Chuang LC, Huang CS, Ou-Yang LW, Lin SY (2011) Probiotic *Lactobacillus paracasei* effect on cariogenic bacterial flora. *Clin Oral Investig* 15:471-6.
52. Claydon NC (2008) Current concepts in toothbrushing and interdental cleaning. *Periodontol* 2000 48:10-22.
53. Coldwell SE, Oswald TK, Reed DR (2009) A marker of growth differs between adolescents with high vs. low sugar preference. *Physiol Behav* 96:574-80.
54. Cooley RL, Brown FH, Stoffers KW (1988) Effect of air-powder abrasive spray on glass ionomers. *Am J Dent* 1:209-13.

55. Cooley RL, Lubow RM, Brown FH (1988) Effect of air-powder abrasive instrument on porcelain. *J Prosthet Dent* 60:440-3.
56. Cooley RL, Lubow RM, Patrissi GA (1986) The effect of an air-powder abrasive instrument on composite resin. *J Am Dent Assoc* 112:362-4.
57. Cugini M, Warren PR (2006) The Oral-B CrossAction manual toothbrush: a 5-year literature review. *J Can Dent Assoc* 72:323.
58. Cummins D, Creeth JE (1992) Delivery of antiplaque agents from dentifrices, gels, and mouthwashes. *J Dent Res* 71:1439-49.
59. Curilovic Z, Mazor Z, Berchtold H (1977) Gingivitis in Zurich schoolchildren. A reexamination after 20 years. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 87:801-8.
60. Cutress TW (1972) The inorganic composition and solubility of dental enamel from several specified population groups. *Arch Oral Biol* 17:93-109.
61. DAKJ (2007) Empfehlungen zur Prävention der Milchzahnkaries. *Monatsschr Kinderheilkd* 155:544-548.
62. Davidson CL, Boom G, Arends J (1973) Calcium distribution in human and bovine surface enamel. *Caries Res* 7:349-59.
63. de Boever JA, Vande Velde F (1985) Pulverstrahlgeräte zur Belagsentfernung. Eine klinische und rasterelektronenmikroskopische Studie. *Dtsch Zahnarztl Z* 40:725-9.
64. de Mendonca AC, Maximo MB, Rodrigues JA, Arrais CA, de Freitas PM, Duarte PM (2008) Er:YAG Laser, ultrasonic system, and curette produce different profiles on dentine root surfaces: an in vitro study. *Photomed Laser Surg* 26:91-7.
65. De Menezes Oliveira MA, Torres CP, Gomes-Silva JM, Chinelatti MA, De Menezes FC, Palma-Dibb RG, Borsatto MC (2010) Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. *Microsc Res Tech* 73:572-7.
66. DeSpain B, Nobis R (1987) A comparison of rubber cup polishing and air polishing. *J Dent Res* 66:151(Abstr. 357).
67. DGZMK Stellungnahme der deutschen Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) für Fissuren- und Grübchenversiegelung. Stand 2/2011.
68. DGZMK (2013) Fluoridierungsmaßnahmen zur Kariesprophylaxe. Update der Leitlinie AWMF Register-Nr. 083-001: 1-107.

69. Djamchidi C, Hartung C, Jost-Brinkmann P-G (2004) Cleaning efficacy of superfloss, Special-floss and stainless/mega floss in patients with brackets. *Orthodontics* 1:33-41.
70. Donzé Y, Krüger J, Ketterl W, Rateitschak KH (1973) Treatment of gingivitis with Cavitron or hand instruments: a comparative study. *Helv Odontol Acta* 17:31-7.
71. Duncker M (1990) Die Bedeutung der Zahnplaque als ätiopathogenetischer Faktor für die Entwicklung kariöser Läsionen und den Verlust parodontalen Gewebes während kieferorthopädischer Behandlungsmaßnahmen. *Prakt Kieferorthop* 4:233-238.
72. Edmunds DH, Whittaker DK, Green RM (1988) Suitability of human, bovine, equine, and ovine tooth enamel for studies of artificial bacterial carious lesions. *Caries Res* 22:327-36.
73. Eliades GC, Tzoutzas JG, Vougiouklakis GJ (1991) Surface alterations on dental restorative materials subjected to an air-powder abrasive instrument. *J Prosthet Dent* 65:27-33.
74. EMS Air-Flow[®] Handy 2+ Betriebsanleitung.
75. EMS Air-Flow[®] Pulver Classic Produkteigenschaft.
76. Epstein S (1951) Analysis of airbrasive procedures in dental practice. *J Am Dent Assoc* 43:578-82.
77. Esser M, Tinschert J, Marx R (1998) Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 53:713-7.
78. Featherstone JD (2000) The science and practice of caries prevention. *J Am Dent Assoc* 131:887-99.
79. Featherstone JD (2004) The continuum of dental caries-evidence for a dynamic disease process. *J Dent Res* 83 Spec No C:C39-42.
80. Featherstone JD, Mellberg JR (1981) Relative rates of progress of artificial carious lesions in bovine, ovine and human enamel. *Caries Res* 15:109-14.
81. Feng XP, Newton JT, Robinson PG (2001) The impact of dental appearance on perceptions of personal characteristics among Chinese people in the United Kingdom. *Int Dent J* 51:282-6.
82. Finlayson RS, Stevens FD (1988) Subcutaneous facial emphysema secondary to use of the Cavi-Jet. *J Periodontol* 59:315-7.

83. Flemmig TF, Hetzel M, Topoll H, Gerss J, Haeberlein I, Petersilka G (2007) Subgingival debridement efficacy of glycine powder air polishing. *J Periodontol* 78:1002-10.
84. Fonseca RB, Haiter-Neto F, Carlo HL, Soares CJ, Sinhoreti MA, Puppim-Rontani RM, Correr-Sobrinho L (2008) Radiodensity and hardness of enamel and dentin of human and bovine teeth, varying bovine teeth age. *Arch Oral Biol* 53:1023-9.
85. Franco Neto CA, Parolo CC, Rosing CK, Maltz M (2008) Comparative analysis of the effect of two chlorhexidine mouthrinses on plaque accumulation and gingival bleeding. *Braz Oral Res* 22:139-44.
86. Frankenberger R, Lohbauer U, Tay FR, Taschner M, Nikolaenko SA (2007) The effect of different air-polishing powders on dentin bonding. *J Adhes Dent* 9:381-9.
87. Galloway SE, Pashley DH (1987) Rate of removal of root structure by the use of the Prophy-Jet device. *J Periodontol* 58:464-9.
88. Gehrke T (1996) Nachuntersuchung zum Einfluss festsitzender kieferorthopädischer Apparaturen auf die Entwicklung von Karies, insbesondere Initialläsionen. Zahnmed Diss, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
89. Gente M, Sondermann U, Lehmann K (1985) Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient von Rinderschmelz und Rinderdentin. *Dtsch Zahnärztl Z* 40:488-490.
90. Gerbo LR, Lacefield WR, Barnes CM, Russell CM (1993) Enamel roughness after air-powder polishing. *Am J Dent* 6:96-8.
91. Glenwright HD, Knibbs PJ, Burdon DW (1985) Atmospheric contamination during use of an air polisher. *Br Dent J* 159:294-7.
92. Goodis HE, Marshall GW, Jr., White JM, Gee L, Hornberger B, Marshall SJ (1993) Storage effects on dentin permeability and shear bond strengths. *Dent Mater* 9:79-84.
93. Göz G, Rakosi Th (1989) Die Veränderung der klinischen Kronenlänge unter Multibandbehandlung. *Fortschr. Kieferorthp.* 50:367-376.
94. Grabowski R (1976) [Timing of the orthodontic treatment in patients with cleft lip and cleft palate]. *Stomatol DDR* 26:422-5.
95. Griffin SO, Oong E, Kohn W, Vidakovic B, Gooch BF, Bader J, Clarkson J, Fontana MR, Meyer DM, Rozier RG, Weintraub JA, Zero DT (2008) The effectiveness of sealants in managing caries lesions. *J Dent Res* 87:169-74.

96. Gustafsson BE, Quensel CE, Lanke LS, Lundqvist C, Grahnen H, Bonow BE, Krasse B (1954) The Vipeholm dental caries study; the effect of different levels of carbohydrate intake on caries activity in 436 individuals observed for five years. *Acta Odontol Scand* 11:232-64.
97. Gutmann MS, Marker VA, Gutmann JL (1993) Restoration surface roughness after air-powder polishing. *Am J Dent* 6:99-102.
98. Gwinnett AJ (1984) Scientific rationale for sealant use and technical aspects of application. *J Dent Educ* 48:56-9.
99. Hannemann M, Diedrich P (1986) Der Einsatz des Prophy-Jet-Gerätes zur Schmelzpolitur nach der Bracketentfernung. *Fortschr. Kieferorthop* 47:317-326.
100. Hayashi-Sakai S, Sakai J, Sakamoto M, Endo H (2012) Determination of fracture toughness of human permanent and primary enamel using an indentation microfracture method. *J Mater Sci Mater Med*
101. Heintze SD, Finke C, Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R (1992) Individualprophylaxe in der Kieferorthopädie. Berlin: Quintessenz, P 160.
102. Heiser W, Pfaller K (1984) Die Anwendung des Air Flow[®] in der kieferorthopädischen Praxis. *Inf Orthod Kieferorthop* 16:185-190.
103. Hellwig E (1997) Die Prävention für jedes Lebensalter Zahnärztliche Mitteilungen. *Zahnärztliche Mitteilungen* 87:518-528.
104. Hellwig E, Klimek J, Attin T (2010) Einführung in die Zahnerhaltung. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, P 5.
105. Horning G (1987) Clinical use of an air-powder abrasive. *Compendium* 8:652, 654-5, 658 passim.
106. Horning GM, Cobb CM, Killooy WJ (1987) Effect of an air-powder abrasive system on root surfaces in periodontal surgery. *J Clin Periodontol* 14:213-20.
107. Hosoya Y, Johnston JW (1989) Evaluation of various cleaning and polishing methods on primary enamel. *J Pedod* 13:253-69.
108. Hotz PR (1997) Anwendung der Fluoride in der Zahnmedizin. *Oralprphylaxe & Kinderzahnheilkunde* 19:11-18.
109. Huber SJ, Vernino AR, Nanda RS (1987) Professional prophylaxis and its effect on the periodontium of full-banded orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91:321-7.

110. Huerzeler MB, Einsele FT, Leupolz M, Kerkhecker U, Strub JR (1998) The effectiveness of different root debridement modalities in open flap surgery. *J Clin Periodontol* 25:202-8.
111. Hügelmeyer T (1989) Oberflächenveränderung von Zahnschmelz, Wurzelzement, Amalgam und Kunststoff nach Behandlung mit verschiedenen Reinigungsinstrumenten. *Quintessenz* 40:683-693.
112. Hugoson A, Koch G, Gothberg C, Helkimo AN, Lundin SA, Norderyd O, Sjodin B, Sondell K (2005) Oral health of individuals aged 3-80 years in Jonkoping, Sweden during 30 years (1973-2003). II. Review of clinical and radiographic findings. *Swed Dent J* 29:139-55.
113. Hurmuzlu F, Ozdemir AK, Hubbezoglu I, Coskun A, Siso SH (2007) Bond strength of adhesives to dentin involving total and self-etch adhesives. *Quintessence Int* 38:e206-12.
114. Hüttemann RW (1976) Untersuchungen über die Oberflächenstruktur des Zahnschmelzes nach Einwirkung von Ultraschall. *Zahnmed Diss*, Justus-Liebig Universität, Gießen.
115. Jimenez-Montano MA, Lara-Ochoa F (1991) On the skew distribution of immunoglobulins and the inverted protein-folding problem. *Biosystems* 24:261-7.
116. Jost-Brinkmann P-G (1997) Wirkung und Nebenwirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei regelmäßiger Anwendung in der Orthodontie. Mainz Verlag, Aachen.
117. Jost-Brinkmann P-G Prophylaxe in der Kieferorthopädie - Was ist anders? (2003) In: Roulet J-F, Zimmer S, Prophylaxe und Präventivzahnmedizin. Stuttgart: Thieme, 147-156.
118. Jost-Brinkmann P-G, Goebel S (2002) Wirkung von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Oberflächenspannung von Zahnschmelz. *ZMK* 18:112-114.
119. Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R, Gehrke T (1996) Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen und die Entwicklung von Karies, insbesondere Initialläsionen. *Inf Orthod Kieferorthop* 28:327-336.
120. Jost-Brinkmann P-G, Radlanski RJ (1996) Oberflächenbeeinflussung kieferorthopädischer Brackets durch Pulver-Wasserstrahlgeräte. *Quintessenz* 47:219-227.

121. Jost-Brinkmann P-G, Schiller RA, Jost-Brinkmann B (1994) Untersuchung zur Häufigkeit transitorischer Bakteriämien durch Zahnreinigung mittels Pulverstrahlgeräten. *Quintessenz* 45:1677-1687.
122. KaVo PROPHYflex 3[®] Betriebsanleitung.
123. KaVo PROPHYpearls[®] Produkteigenschaft.
124. Kershaw S, Newton JT, Williams DM (2008) The influence of tooth colour on the perceptions of personal characteristics among female dental patients: comparisons of unmodified, decayed and 'whitened' teeth. *Br Dent J* 204:E9; discussion 256-7.
125. Keyes PH (1962) Recent advances in dental carious research. Bacteriology. Bacteriological findings and biological implications. *Int. Dent. J.* 12:443-464.
126. Kickel R (Januar 1997) Wirkstoffe gegen Plaque und Bakterien. *Quintessenz Bonusausgabe A* 45-57.
127. Kim SH, Choi DS, Jang I, Cha BK, Jost-Brinkmann PG, Song JS (2012) Microbiologic changes in subgingival plaque before and during the early period of orthodontic treatment. *Angle Orthod* 82:254-60.
128. Koch MJ, Staehle HJ (1993) Experimentelle Untersuchungen zur Reinigung des Fissurensystems vor Versiegelung. *Dtsch Zahnärztl Z* 47:764-767.
129. Kodaka T, Debari K, Yamada M, Kuroiwa M (1992) Correlation between microhardness and mineral content in sound human enamel (short communication). *Caries Res* 26:139-41.
130. König K (1971) *Karies und Kariesprophylaxe*. München: Goldmann, P 214.
131. Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H (1989) The gingival effects of dental airpolishing as evaluated by scanning electron microscopy. *J Periodontol* 60:19-22.
132. Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H (1990) Effects of airpolishing on dental plaque removal and hard tissues as evaluated by scanning electron microscopy. *J Periodontol* 61:334-8.
133. Kosen LA (1995) Caries diagnosis and risk assessment. A review of preventive strategies and management. *J Am Dent Assoc* 126 Suppl:1S-24S.
134. Kozlovsky A, Artzi Z, Nemcovsky CE, Hirshberg A (2005) Effect of air-polishing devices on the gingiva: histologic study in the canine. *J Clin Periodontol* 32:329-34.

135. Kramer E (2009) Prophylaxefibel: Grundlagen der Zahngesundheit. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, P 175.
136. Krifka S, Borzsonyi A, Koch A, Hiller KA, Schmalz G, Friedl KH (2008) Bond strength of adhesive systems to dentin and enamel--human vs. bovine primary teeth in vitro. *Dent Mater* 24:888-94.
137. Kukleva MP, Shetkova DG, Beev VH (2002) Comparative age study of the risk of demineralization during orthodontic treatment with brackets. *Folia Med (Plovdiv)* 44:56-9.
138. Leckel M, Lenz P, Gilde H (1989) [Comparison of two powder-stream systems for tooth polishing]. *ZWR* 98:518-21.
139. Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook A, Jr., Pimenta LA, Leonard R, Ritter AV (2007) Using extracted teeth for research: the effect of storage medium and sterilization on dentin bond strengths. *J Am Dent Assoc* 138:1599-603.
140. Lehne RK, Winston AE (1983) Abrasivity of sodium bicarbonate. *Clin Prev Dent* 5:17-8.
141. Liebenberg WH, Crawford BJ (1997) Subcutaneous, orbital, and mediastinal emphysema secondary to the use of an air-abrasive device. *Quintessence Int* 28:31-8.
142. Logothetis DD, Martinez-Welles JM (1995) Reducing bacterial aerosol contamination with a chlorhexidine gluconate pre-rinse. *J Am Dent Assoc* 126:1634-9.
143. Lubow RM, Cooley RL (1986) Effect of air-powder abrasive instrument on restorative materials. *J Prosthet Dent* 55:462-5.
144. Lutz F, Imfeld T (2002) Advances in abrasive technology--prophylaxis pastes. *Compend Contin Educ Dent* 23:61-4, 66, 68 passim; quiz 72.
145. Lutz F, Imfeld T, Schupbach P (1995) Prophylaxepasten - das neue Abrasiv Perlit im Vergleich zu konventionellen Putzkörpern. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105:30-9.
146. Lutz F, Sener B, Imfeld T, Barbakow F, Schupbach P (1993) Self-adjusting abrasiveness: a new technology for prophylaxis pastes. *Quintessence Int* 24:53-63.
147. Mahlendorff M (1985) Untersuchungen über Abrasion und Oberflächenveränderung auf Zahnschmelz nach Anwendung von Hilfsmitteln der mechanischen Belagentfernung: Vergleich von Gummikelch und Polierpaste mit

- den Abrasivstrahlern AIR-FLOW[®] und PROPHY-JET[®]. Zahnmed Diss, Julius-Maximilian-Universität, Würzburg.
148. Makinen KK, Alanen P, Isokangas P, Isotupa K, Soderling E, Makinen PL, Wenhui W, Weijian W, Xiaochi C, Yi W, Boxue Z (2008) Thirty-nine-month xylitol chewing-gum programme in initially 8-year-old school children: a feasibility study focusing on mutans streptococci and lactobacilli. *Int Dent J* 58:41-50.
 149. Marinho VC, Higgins JP, Logan S, Sheiham A (2003) Topical fluoride (toothpastes, mouthrinses, gels or varnishes) for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* CD002782.
 150. McCracken GI, Janssen J, Swan M, Steen N, de Jager M, Heasman PA (2003) Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush. *J Clin Periodontol* 30:409-13.
 151. Meier A, Stassinakis A, Hugo B, Hotz P (2000) Substanzverlust und Oberflächenrauigkeit nach Bearbeitung mit Prophylaxeinstrumenten in vitro. *Acta Med Dent Helv* 5:31-36.
 152. Mejare I, Stenlund H, Julihn A, Larsson I, Permert L (2001) Influence of approximal caries in primary molars on caries rate for the mesial surface of the first permanent molar in swedish children from 6 to 12 years of age. *Caries Res* 35:178-85.
 153. Mellberg JR (1992) Hard-tissue substrates for evaluation of cariogenic and anti-cariogenic activity in situ. *J Dent Res* 71 Spec No:913-9.
 154. Mellberg JR, Loertscher KL (1974) Comparison of in vitro fluoride uptake by human and bovine enamel from acidulated phosphate-fluoride solutions. *J Dent Res* 53:64-7.
 155. Mengel R, Wissing E, Schmitz-Habben A, Flores-de-Jacoby L (1995) Plaque- und Gingivitis-Hemmung durch Aminfluorid/Zinnfluorid (Meridol) und Natriumfluorid. *Dtsch Zahnärztl Z* 50:643-648.
 156. Meurman JH, Torkko H, Hirvonen J, Koskinen J, Rytomaa I (1990) Application of a new mechanical properties microprobe to study hardness of eroded bovine enamel in vitro. *Scand J Dent Res* 98:568-70.
 157. Micheelis W, Schiffner U, Hoffmann T, Kerschbaum T, John MT (2007) Ausgewählte Ergebnisse der Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV). *Dtsch Zahnärztl Z* 62:218-240.

158. Miethke R-R (1973) Zahnbreiten und Zahnbreitenkorrelationen. Dtsch Zahnärztl Z 28:1078-1084.
159. Miller A, Barr RG, Young SN (1994) The cold pressor test in children: methodological aspects and the analgesic effect of intraoral sucrose. Pain 56:175-83.
160. Mishkin DJ, Engler WO, Javed T, Darby TD, Cobb RL, Coffman MA (1986) A clinical comparison of the effect on the gingiva of the Prophy-Jet and the rubber cup and paste techniques. J Periodontol 57:151-4.
161. Mitchell L (1992) Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliances--an overview. Br J Orthod 19:199-205.
162. Moberg Sköld U, Birkhed D, Borg E, Petersson LG (2005) Approximal caries development in adolescents with low to moderate caries risk after different 3-year school-based supervised fluoride mouth rinsing programmes. Caries Res 39:529-35.
163. Moëne R, Décaillet F, Andersen E, Mombelli A (2010) Subgingival plaque removal using a new air-polishing device. J Periodontol 81:79-88.
164. Moëne R, Décaillet F, Mombelli A (2010) [Subgingival air-polishing: new perspectives for periodontal maintenance?]. Schweiz Monatsschr Zahnmed 120:891-911.
165. Moshrefi A (2002) Chlorhexidine. J West Soc Periodontol Periodontal Abstr 50:5-9.
166. Mühlemann HR, Mazor Z (1958) Gingivitis in Zurich School Children. Helv Odont Acta 2:3-12.
167. Munley M, Everett M, Krupa C, Somerman M, Suzuki J (1987) Removal of extrinsic stain by air powder polishing. J Dent Res 66:151 (Abstr. 356).
168. Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T (1983) Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. J Dent Res 62:1076-81.
169. Nedwed V (2003) Untersuchung zu den Wirkungen eines Pulver-Wasser-Strahlgerätes auf Zahnschmelz und verschiedene Füllungs- und Befestigungsmaterialien in der Kieferorthopädie - Eine In-vitro-Studie zum PROPHYflex 2. Zahnmed Diss, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
170. Neidhard A (2003) Wer die Wahl hat – neue Prophylaxepulver für Pulverstrahlgeräte. Dentalhygiene Journal 2:26-28.

171. Netuschil L, Weiger R, Preisler R, Brex M (1995) Plaque bacteria counts and vitality during chlorhexidine, meridol and listerine mouthrinses. *Eur J Oral Sci* 103:355-61.
172. Newton JT, Prabhu N, Robinson PG (2003) The impact of dental appearance on the appraisal of personal characteristics. *Int J Prosthodont* 16:429-34.
173. Nikiforuk G (1985) *Understanding Dental Caries. Etiology and mechanism.* Basel: Karger, P 83-118.
174. O'Mullane DM, Ellwood RP, Kavanagh D, Chesters RK, Schäfer F (1994) Association between toothbrushing routines and caries increments in a clinical trial. *Caries Res* 28:195.
175. Oesterle LJ, Shellhart WC, Belanger GK (1998) The use of bovine enamel in bonding studies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:514-9.
176. Ollila P, Larmas M (2007) A seven-year survival analysis of caries onset in primary second molars and permanent first molars in different caries risk groups determined at age two years. *Acta Odontol Scand* 65:29-35.
177. Orton GS (1987) Clinical use of an air-powder abrasive system. *Dent Hyg (Chic)* 61:513-8.
178. Pagniano RP, Scheid RC, Rosen S, Beck FM (1986) Reducing airborne microbes in the preclinical dental laboratory. *J Dent Educ* 50:234-5.
179. Parfitt GJ (1960) A survey of the oral health of Navajo Indian children. *Arch Oral Biol* 1:193-205.
180. Patterson CJ, McLundie AC (1984) A comparison of the effects of two different prophylaxis regimes in vitro on some restorative dental materials. A preliminary SEM study. *Br Dent J* 157:166-70.
181. Pelka M, Krämer N, Kunzelmann K-H (1993) Oberflächenveränderungen verschiedener Modellmaterialien durch mechanische Profilometrie. *Dtsch Zahnärztl Z* 48:488-491.
182. Pelka M, Trautmann S, Petschelt A, Lohbauer U (2010) Influence of air-polishing devices and abrasives on root dentin - an in vitro confocal laser scanning microscope study. *Quintessence Int* 41:e141-8.
183. Pelka MA, Altmaier K, Petschelt A, Lohbauer U (2010) The effect of air-polishing abrasives on wear of direct restoration materials and sealants. *J Am Dent Assoc* 141:63-70.

184. Peruchi C, Santos-Pinto L, Santos-Pinto A, Barbosa e Silva E (2002) Evaluation of cutting patterns produced in primary teeth by an air-abrasion system. *Quintessence Int* 33:279-83.
185. Petersilka G, Faggion CM, Jr., Stratmann U, Gerss J, Ehmke B, Haeberlein I, Flemmig TF (2008) Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol* 35:324-32.
186. Petersilka GJ (2011) Subgingival air-polishing in the treatment of periodontal biofilm infections. *Periodontol 2000* 55:124-42.
187. Petersilka GJ, Bell M, Häberlein I, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF (2003) In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. *J Clin Periodontol* 30:9-13.
188. Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF (2003) Root defects following air polishing. *J Clin Periodontol* 30:165-70.
189. Petersilka GJ, Schenck U, Flemmig TF (2002) Powder emission rates of four air polishing devices. *J Clin Periodontol* 29:694-8.
190. Petersilka GJ, Steinmann D, Häberlein I, Heinecke A, Flemmig TF (2003) Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive air-polishing powder. *J Clin Periodontol* 30:328-33.
191. Petersilka GJ, Tunkel J, Barakos K, Heinecke A, Haberlein I, Flemmig TF (2003) Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder. *J Periodontol* 74:307-11.
192. Petersson LG (1993) Fluoride mouthrinses and fluoride varnishes. *Caries Res* 27 Suppl 1:35-42.
193. Petersson LG, Twetman S, Dahlgren H, Norlund A, Holm AK, Nordenram G, Lagerlof F, Soder B, Kallestal C, Mejare I, Axelsson S, Lingstrom P (2004) Professional fluoride varnish treatment for caries control: a systematic review of clinical trials. *Acta Odontol Scand* 62:170-6.
194. Pieper K (2005) Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Bonn: Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege, P 136.
195. Pieper K, Momeni A (2006) Grundlagen der Kariesprophylaxe bei Kindern. *Deutsches Ärzteblatt* 15:1003-1009.
196. Pikdoken ML, Ozcelik C (2006) Severe enamel abrasion due to misuse of an air polishing device. *Int J Dent Hyg* 4:209-12.

197. Pitts NB, Stamm JW (2004) International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT)--final consensus statements: agreeing where the evidence leads. *J Dent Res* 83 Spec No C:C125-8.
198. Priehn-Küpper S (2000) Fluoride - die derzeit allgemeine Verunsicherung. *ZM* 21:14-15.
199. Radlanski RJ (2011) Curriculum: Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie. Berlin: Quintessenz, P 220.
200. Ramaglia L, di Lauro AE, Morgese F, Squillace A (2006) Profilometric and standard error of the mean analysis of rough implant surfaces treated with different instrumentations. *Implant Dent* 15:77-82.
201. Reeh ES, Douglas WH, Levine MJ (1995) Lubrication of human and bovine enamel compared in an artificial mouth. *Arch Oral Biol* 40:1063-72.
202. Reeves GW, Fitchie JG, Hembree JH, Jr., Puckett AD (1995) Microleakage of new dentin bonding systems using human and bovine teeth. *Oper Dent* 20:230-5.
203. Reis AF, Giannini M, Kavaguchi A, Soares CJ, Line SR (2004) Comparison of microtensile bond strength to enamel and dentin of human, bovine, and porcine teeth. *J Adhes Dent* 6:117-21.
204. Ripa LW, Gwinnett AJ, Buonocore MG (1966) The "prismless" outer layer of deciduous and permanent enamel. *Arch Oral Biol* 11:41-8.
205. Rode Sde M, Gimenez X, Montoya VC, Gomez M, Blanc SL, Medina M, Salinas E, Pedroza J, Zaldivar-Chiapa RM, Pannuti CM, Cortelli JR, Oppermann RV (2012) Daily biofilm control and oral health: consensus on the epidemiological challenge--Latin American Advisory Panel. *Braz Oral Res* 26 Suppl 1:133-43.
206. Roulet JF, Roulet-Mehrens TK (1982) The surface roughness of restorative materials and dental tissues after polishing with prophylaxis and polishing pastes. *J Periodontol* 53:257-66.
207. Rugg-Gunn AJ, Hackett AF, Appleton DR, Jenkins GN, Eastoe JE (1984) Relationship between dietary habits and caries increment assessed over two years in 405 English adolescent school children. *Arch Oral Biol* 29:983-92.
208. Sahai H, Ageel M (2000) *The Analysis of Variance: Fixed, Random, and Mixed Models*. Berlin: Birkhäuser, P 85.

209. Santana FR, Pereira JC, Pereira CA, Fernandes Neto AJ, Soares CJ (2008) Influence of method and period of storage on the microtensile bond strength of indirect composite resin restorations to dentine. *Braz Oral Res* 22:352-7.
210. Sauter M (2006) Vergleich der durch Bleichen bedingten Mikrohärteveränderung des Schmelzes an Menschen- und Rinderzähnen unter Verwendung von zwei unterschiedlichen carbamidperoxidhaltigen Bleichmitteln. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.
211. Scheie AA (1994) Mechanisms of dental plaque formation. *Adv Dent Res* 8:246-53.
212. Scheinin A, Banoczy J (1985) Collaborative WHO xylitol field studies in Hungary. An overview. *Acta Odontol Scand* 43:321-5.
213. Scheinin A, Mäkinen KK (1975) Turku sugar studies V-XIV and XVIII-XX. *Acta Odontol Scand (Suppl 70)* 43:1-400.
214. Schiffner U (1992) Die Einwirkung eines abrasiven Pulverstrahles auf artifiziell demineralisierten Schmelz. *Dtsch Zahnärztl Z* 47:778-781.
215. Schiffner U (1995) Mechanische und chemische Plaquereduktion. *Dtsch Zahnärztl Z* 50:863-969.
216. Schilke R, Lisson JA, Bauss O, Geurtsen W (2000) Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol* 45:355-61.
217. Schmalz G, Hiller KA, Nunez LJ, Stoll J, Weis K (2001) Permeability characteristics of bovine and human dentin under different pretreatment conditions. *J Endod* 27:23-30.
218. Schmidt HMF (1964) Ein neues Touchierungsmittel mit besonders lang anhaltendem intensiven Fluoridierungseffekt. *Stoma* 17:14-20.
219. Schulte A (2003) Auswirkungen von Wasser-Pulverstrahlgeräten auf Zahnhartgewebe und Restaurationsmaterialien. *ZMK* 19:2-5.
220. Schwientek K (2011) Der Einfluss unterschiedlicher Prophylaxepulver auf die adhäsive Verbundfestigkeit von Etch&Rinse- und Self-Etch-Adhäsiven. Zahnmed. Diss., Friedrich-Alexander-Universität, Nürnberg.
221. Sharawy M, Yeager JA (1997) Enamel. In: Bhaskar SN, editor. *Orban's Oral histology and embryology*. 11th ed. Missouri: Mosby publ, p. 49.

222. Shellis RP (1984) Variations in growth of the enamel crown in human teeth and a possible relationship between growth and enamel structure. *Arch Oral Biol* 29:697-705.
223. Skeie MS, Raadal M, Strand GV, Espelid I (2006) The relationship between caries in the primary dentition at 5 years of age and permanent dentition at 10 years of age - a longitudinal study. *Int J Paediatr Dent* 16:152-60.
224. Snyder JA, McVay JT, Brown FH, Stoffers KW, Harvey RC, Houston GD, Patrissi GA (1990) The effect of air abrasive polishing on blood pH and electrolyte concentrations in healthy mongrel dogs. *J Periodontol* 61:81-6.
225. Söderling E, Hirvonen A, Karjalainen S, Fontana M, Catt D, Seppä L (2011) The effect of xylitol on the composition of the oral flora: a pilot study. *Eur J Dent* 5:24-31.
226. Sønju Clasen AB, Hannig M, Skjørland K, Sønju T (1997) Analytical and ultrastructural studies of pellicle on primary teeth. *Acta Odontol Scand* 55:339-43.
227. Sønju Clasen AB, Ruyter IE (1997) Quantitative determination of type A and type B carbonate in human deciduous and permanent enamel by means of Fourier transform infrared spectrometry. *Adv Dent Res* 11:523-7.
228. Splieth C, Meyer G (1996) Factors for changes of caries prevalence among adolescents in Germany. *Eur J Oral Sci* 104:444-51.
229. Staehle HJ (1996) Sind Karies und parodontale Erkrankungen selbstverschuldet? *Quintessenz* 47 (10):1389-1409.
230. Steiner M, Helfenstein U, Menghini G (1998) Association of salivary mutans streptococci with discoloured pits and fissures. *Community Dent Oral Epidemiol* 26:412-7.
231. Stookey GK (1998) Caries prevention. *J Dent Educ* 62:803-11.
232. Stookey GK, Schemehorn BR (1979) A method for assessing the relative abrasion of prophylaxis materials. *J Dent Res* 58:588-92.
233. Strand GV, Raadal M (1988) The efficiency of cleaning fissures with an air-polishing instrument. *Acta Odontol Scand* 46:113-7.
234. Suhsmann S, Staudinger S, Liberda R, Wernisch J, Matejka M (1986) Untersuchungen über die Auswirkungen verschiedener Methoden der professionellen Zahnreinigung auf die Zahnhartgewebe. *Z Stomatol* 83:69-78.
235. Suppipat N (1974) Ultrasonics in periodontics. *J Clin Periodontol* 1:206-13.

236. Sydney-Zax M, Mayer I, Deutsch D (1991) Carbonate content in developing human and bovine enamel. *J Dent Res* 70:913-6.
237. Szpunar SM, Eklund SA, Burt BA (1995) Sugar consumption and caries risk in schoolchildren with low caries experience. *Community Dent Oral Epidemiol* 23:142-6.
238. Tenenbaum H, Dahan M, Soell M (1999) Effectiveness of a sanguinarine regimen after scaling and root planing. *J Periodontol* 70:307-11.
239. Theilade E, Wright WH, Jensen SB, Loe H (1966) Experimental gingivitis in man. II. A longitudinal clinical and bacteriological investigation. *J Periodontal Res* 1:1-13.
240. Titley KC, Childers S, Kulkarni G (2006) An in vitro comparison of short and long term bond strengths of polyacid modified composite resins to primary human and bovine enamel and dentine. *Eur Arch Paediatr Dent* 7:246-52.
241. Topoll H, Horvath G, Lange DE (1985) Über die Oberflächenbeschaffenheit des Zahnschmelzes, des Wurzelzementes und des Dentins nach Einwirkung von Ultraschall und nach Abstrahlung mit einem Wasser-Natriumbikarbonat-Gemisch. *Dtsch Zahnärztl Z* 40:755-758.
242. Tosun G, Sener Y, Sengun A (2007) Effect of storage duration/solution on microshear bond strength of composite to enamel. *Dent Mater J* 26:116-21.
243. Trampisch HJ, Windeler J (2000) *Medizinische Statistik*. Heidelberg: Springer-Verlag, P 59.
244. Tubert-Jeannin S, Riordan PJ (2003) Association of caries experience in 12-year-old children in Heidelberg, Germany and Montpellier, France with different caries preventive measures. *Community Dent Oral Epidemiol* 31:75-6; author reply 77-8.
245. Turssi CP, Messias DF, Corona SM, Serra MC (2010) Viability of using enamel and dentin from bovine origin as a substitute for human counterparts in an intraoral erosion model. *Braz Dent J* 21:332-6.
246. Twetman S, Axelsson S, Dahlgren H, Holm AK, Kallestal C, Lagerlof F, Lingstrom P, Mejare I, Nordenram G, Norlund A, Petersson LG, Soder B (2003) Caries-preventive effect of fluoride toothpaste: a systematic review. *Acta Odontol Scand* 61:347-55.

247. Uchida T, Suda Y, Motohashi K, Suzuki A, Marumo Y, Yokozuka S (1986) [The effect of an air polishing system on orthodontic materials and tooth surfaces]. *Shigaku* 74:377-90.
248. van Houte J (1994) Role of micro-organisms in caries etiology. *J Dent Res* 73:672-81.
249. Walmsley AD, Williams AR, Laird WR (1987) The air-powder dental abrasive unit--an evaluation using a model system. *J Oral Rehabil* 14:43-50.
250. Walsh T, Worthington HV, Glenny AM, Appelbe P, Marinho VC, Shi X (2010) Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* CD007868.
251. Warren PR, Chater BV (1996) An overview of established interdental cleaning methods. *J Clin Dent* 7:65-9.
252. Weeks LM, Lescher NB, Barnes CM, Holroyd SV (1984) Clinical evaluation of the Prophy-Jet as an instrument for routine removal of tooth stain and plaque. *J Periodontol* 55:486-8.
253. Weber LW, Seidel HJ (2003) Zusammenfassung: der Befunde über die Morphologie der PROPHYpearls, ihre Anwendung auf Dentin und Schmelz, die Inhaltsstoffe vor und nach Anwendung auf Oberflächen. Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Ulm, Germany.
254. White DJ (1997) Dental calculus: recent insights into occurrence, formation, prevention, removal and oral health effects of supragingival and subgingival deposits. *Eur J Oral Sci* 105:508-22.
255. White DJ, Peyton FA (1954) Effects of air abrasive in prophylaxis *J Am Dent Assoc* 49:155-163.
256. Willmann DE, Norling BK, Johnson WN (1980) A new prophylaxis instrument: effect on enamel alterations. *J Am Dent Assoc* 101:923-5.
257. Wilmes B, Vali S, Drescher D (2009) In-vitro study of surface changes in fixed orthodontic appliances following air polishing with Clinpro Prophy and Air-Flow. *J Orofac Orthop* 70:371-84.
258. Wilson PR, Beynon AD (1989) Mineralization differences between human deciduous and permanent enamel measured by quantitative microradiography. *Arch Oral Biol* 34:85-8.

259. Wimmer R (2012) Effizienz dreier Prophylaxepulver zur Belagsentfernung - eine In-vitro-Untersuchung. Zahnmed Diss, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
260. Worrall SF, Knibbs PJ, Glenwright HD (1987) Methods of reducing bacterial contamination of the atmosphere arising from use of an air-polisher. Br Dent J 163:118-9.
261. Wozniak H, Kiec-Swierczynska M, Stetkiewicz J, Stroszejn-Mrowca G (1986) [Evaluation of the biological effect of polishing powders]. Med Pr 37:236-42.
262. Yanagimura M, Koike F, Satoh E, Wu CS, Hara K, Kawakami T (1988) [Application of an air-powder abrasive system in periodontal therapy and its effect on root surfaces] Abstract [Article in Japanese], Nippon Shishubyo Gakkai Kaishi 30:1168-79.
263. Yassen GH, Platt JA, Hara AT (2011) Bovine teeth as substitute for human teeth in dental research: a review of literature. J Oral Sci 53:273-82.
264. Zimmer S (2000) Kariesprophylaxe als multifaktorielle Präventionsstrategie. Habil-Schrift, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
265. Zinner DD (1955) Recent ultrasonic dental studies, including periodontia, without the use of an abrasive. J Dent Res 34:748-749.

10 Anhang

10.1 Materialliste

1. PROPHYflex[®] 3, KaVo Dental GmbH, Biberach
2. AIR-FLOW[®] handy 2+ , Electro Medical Systems, München
3. Air-Flow[®] Pulver Classic Electro Medical Systems, München [Pulver-Charge: 0405191]
4. ClinPro[™] Prophy Powder, 3M ESPE AG, Seefeld, [Pulver-Charge: 221547]
5. PROPHYpearls[®] Pulver, KaVo Dental GmbH, Biberach, [Pulver-Charge: 0611200711]
6. Diasint-Diamantscheibe, DENTAURUM GmbH & Co. KG, Ispringen
7. Diamant rund, 0142.009, Komet, Lemgo
8. Thymolum cryst., Caesar & Loretz GmbH, Hilden
9. Polyurethan-Gießmasse: Ebalta SG 130 Komp. A, Pur 11 Komp. B, Ebalta Kunststoff GmbH, Rothenburg o. d. Tauber
10. Keramischer Füllstoff: Füllstoff F-B, Ebalta Kunststoff GmbH, Rothenburg o. d. Tauber
11. Nopi Doppelseitiges Klebeband, OTTO Office GmbH & Co KG 1999-2013.
12. Ballistol-Silikon, Silikonspray von Klever Ballistol zur mineralölfreien Schmierung aller Materialien. www.Ballistol-Shop.de, Meerbusch
13. Siliziumcarbid-Papier: Körnung 320, 500, 800, 1200, 2400, 4000 (250 mm Durchmesser), Buehler GmbH, Düsseldorf
14. VECTOR[™] LC, Schleif- und Polieraufsatz , Buehler GmbH, Düsseldorf
15. CCS[®] 40-Prophylaxepaste, Clean Chemical Sweden, Börlange, Schweden
16. Cleanic[®]-Prophylaxepaste, KerrHawe, Bioggio, Schweiz
17. Hawe-Neos 969/30, Dr. H. v. Weissenfluh AG, Schweiz
18. SIRONA[®], Bensheim
19. Aluminiumhalterung, spezialanfertigung des Gerätebaus der Charité – Universitätsmedizin Berlin
20. Mahr GmbH, Göttingen, Deutschland
21. StataCorp LP, College Station, Texas, USA

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Kariesschema. Modifikation nach König [130]

Abb. 2 a und b:

- a) Schematische Darstellung eines Hydroxylapatitkristalls [173]
 - b) Ausrichtung der Schmelzkristalle innerhalb der Schmelzprismen [104]
- Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des deutschen Ärzte-Verlages

Abb. 3 a und b:

- a) komplettes PROPHYflex 3[®]-Gerät
- b) PROPHYflex 3[®]-Gerät zerlegt in:
 - 1. Kanüle
 - 2. Grundkörper
 - 3. Pulverbehälter
 - 4. Steckverbindung für Multiflex-Kupplung

Abb. 4 a und b:

- a) komplettes Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät
- b) Air-Flow[®] Handy 2+-Gerät zerlegt in:
 - 1. Kanüle
 - 2. Grundkörper
 - 3. Pulverbehälter
 - 4. Steckverbindung für Multiflex-Kupplung

Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Air-Flow[®] Pulver Classic
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung R. Wimmer

Abb. 6: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von ClinPro[™] Prophy Powder
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung R. Wimmer

Abb. 7: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von PROPHYpearls[®] Pulver
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung R. Wimmer

Abb. 8 a-e: Probenherstellung: a) Rinderzahn mit Rillen mesial und distal bis zum Pulpenkavum; b) Fixierung der Zähne auf einer Plexiglasscheibe mit doppelseitigem

Klebeband; c) Silikonform; d) Zähne in der Silikonform mit der Harzmasse; e) fertiger Prüfkörper mit Gummiring

Abb. 9: Flussdiagramm zur Vorbereitung, Bearbeitung und Messung der Schmelzprüfkörper

Abb. 10 Schematische Darstellung für die Wellentiefe (W_t) zur Bestimmung des maximalen Schmelzverlustes

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Abb. 11 Schematische Darstellung des 7 mm x 2 mm großen (zunächst planpoliert) Schmelzareals das profilometrisch vermessen wurde nachdem es, in einer 2 mm x 2 mm großen Teilfläche mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät bearbeitet wurde: Bestrahtes Schmelzareal (a), Bereich in dem mittels Profilometer Messungen vorgenommen wurden (b).

R = Referenzbohrlöcher zur Positionierung der Prüfkörper in der Messvorrichtung.

Abb. 12 Box-Whisker-Plot Erklärung

Ein Box-Whisker-Plot ist eine graphische Darstellung (robuster) Verteilungsstatistiken, um zentrale Tendenz, Streuung, Schiefe und Spannweite einer Verteilung (inkl. möglicher Ausreißer) in einem Bild zusammenzufassen.

Der Kasten entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Er wird durch das 25 %- und 75 %-Quantil (auch als 1. und 3. Quartil bezeichnet) begrenzt. Die Länge des Kastens entspricht dem Interquartilsabstand. Dieser ist ein Maß der Streuung der Daten, welches durch die Differenz des oberen und unteren Quartils bestimmt wird. In der Mitte des Kastens wird der Median eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50 % der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb des Kastens bekommt man also einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung vermittelt. Ist der Median im oberen Teil des Kastens, so ist die Verteilung rechtsschief, und umgekehrt [243].

obere Ausreißer: Beobachtungen, die mehr als 1.5-Kastenlängen vom oberen Quartil entfernt sind

untere Ausreißer: Beobachtungen, die mehr als 1.5-Kastenlängen vom unteren Quartil entfernt sind (die Kastenlänge berechnet sich aus der Differenz vom oberen und unteren Quartil)

Abb. 13: Mittenrauwerte R_a (Differenz der R_a -Werte nach und vor Bestrahlung) bleibender Rinderzähne (bovine Zähne), Kälberzähne (bovine Milchzähne) und humaner Milchzähne; Strahldauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] jeweils bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®] Pulver)

Abb. 14: Mittlere Rautiefe R_z (Differenz der R_z -Werte nach und vor Bestrahlung) bleibender Rinderzähne (bovine Zähne), Kälberzähne (bovine Milchzähne) und humaner Milchzähne; Strahldauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] jeweils bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®] Pulver)

Abb. 15: Maximale Rautiefe R_{max} (Differenz der R_{max} -Werte nach und vor Bestrahlung) bleibender Rinderzähne (bovine Zähne), Kälberzähne (bovine Milchzähne) und humaner Milchzähne; Strahldauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei zwei Pulver-Wasser-Strahlgeräten (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] jeweils bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®] Pulver)

Abb. 16: Mittenrauwerte $R_{a,diff}$ (Differenz der R_a -Werte nach und vor Bestrahlung) boviner und humaner Milchzahnschmelzoberflächen; Strahl-/Polierdauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei Verwendung zweier PWS-Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®]) im Vergleich zur Wirkung zweier Prophylaxepasten (Cleanic[®] und CCS[®] 40) bei Bürstenanwendung.

Abb. 17: Mittlere Rautiefe $R_{z,diff}$ (Differenz der R_z -Werte nach und vor Bestrahlung) boviner und humaner Milchzahnschmelzoberflächen; Strahl-/Polierdauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei Verwendung zweier PWS-Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®]) im Vergleich zur Wirkung zweier Prophylaxepasten (Cleanic[®] und CCS[®] 40) bei Bürstenanwendung.

Abb. 18: Maximale Rautiefe $R_{max,diff}$ (Differenz der R_{max} -Werte nach und vor Bestrahlung) boviner und humaner Milchzahnschmelzoberflächen; Strahl-/Polierdauer 60 s. Der Bestrahlungsabstand betrug 5 mm bei Verwendung zweier PWS-Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®]) im Vergleich zur Wirkung zweier Prophylaxepasten (Cleanic[®] und CCS[®] 40) bei Bürstenanwendung.

Abb. 19: Schmelzabtrag gemessen als Wellentiefe $Wt_{,diff}$ (Differenz der Wt -Werte nach und vor Bestrahlung) von bleibenden Rinderzähnen (bovinen Zähnen), Kälberzähnen (bovinen Milchzähnen) und humanen Milchzähnen; Strahldauer 60 s; Bestrahlungsabstand 5 mm; zwei PWS-Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®] Pulver).

Abb. 20: Schmelzabtrag gemessen als Wellentiefe $Wt_{,diff}$ (Differenz der Wt -Werte nach und vor Bestrahlung) von Kälberzähnen (bovinen Milchzähnen) und humanen Milchzähnen; Strahl-/Polierdauer 60 s; Bestrahlungsabstand 5 mm; zwei PWS-Geräte (Air-Flow[®] Handy 2+ und PROPHYflex 3[®] bei maximaler Pulver- und Wassereinstellung) in Kombination mit drei verschiedenen Pulvern (Air-Flow[®] Pulver Classic, ClinPro[™] Prophy Powder und PROPHYpearls[®] Pulver) im Vergleich zur Wirkung zweier Polierpasten (Cleanic[®] und CCS 40[®]) bei Bürstenanwendung.

10.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Empfohlene Tagesdosis der Fluoridsupplementierung für Kinder ohne weitere relevante Fluoridquellen und bei einem Fluoridgehalt im Trinkwasser bis zu 0,3 mg/L

Tab. 2: Mikromorphologische Unterschiede im Schmelz von Zähnen der 1. und 2. Dentition

Tab. 3: Zusammenfassung der Versuchsp Parameter zur Schmelzbearbeitung

Tab. 4 Varianzanalyse (ANOVA F-Test) der Faktoren

Tab. 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Rauheitskenngrößen und der Wellentiefe nach Bearbeitung der Schmelzoberfläche mit den Pulvern (Air-Flow® Pulver Classic, ClinPro™ Prophy Powder und PROPHYpearls®) oder Prophylaxepasten (Cleanic® und CCS® 40) auf humanen beziehungsweise bovinen Milchzähnen.

10.4 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei all denen bedanken, die mich auf vielfältige Art und Weise bei meiner Arbeit unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. Paul-Georg Jost-Brinkmann danke ich für die freundliche Überlassung des Themas, die Anleitung zu wissenschaftlichem Arbeiten und die großzügige und engagierte Unterstützung in jeder Phase bei der Durchführung der Untersuchungen sehr herzlich.

Herrn OA Dr. Christian Finke bin ich für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und seine zahlreichen Anregungen bei der Erstellung des vorliegenden Manuskripts sehr dankbar.

Herrn Prof. Dr. Ralf J. Radlanski und seiner Mitarbeiterin Frau Bölling möchte ich für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung danken.

Herrn Prof. Dr. A. Kielbassa und seinem Mitarbeiter Herrn Toll danke ich für die Erlaubnis der Nutzung der Poliermaschine und die freundliche Betreuung.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern und meinen Freunden, die mich bei dieser Arbeit nach Kräften unterstützt haben.

10.5 Lebenslauf

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

10.6 Publikationsliste

1. Khalefa M, Hennemann K, Finke C, Jost-Brinkmann P-G. **Bilaterale spät Entwicklung Überzähliger Prämolaren im Anschluss an die Extraktion zweiter Prämolaren im Unterkiefer: Ein Patientenbericht.** Quintessenz 2009;60(6):737-739
2. Khalefa M, Finke C, Jost-Brinkmann P-G. **Effects of air-polishing devices with different abrasives on bovine primary and second teeth and deciduous human teeth.** J Orofac Orthop 2013 Sep;74(5):370-80.

10.7 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Mohammad Khalefa, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: [Einflüsse von Pulver-Wasser-Strahlgeräten mit verschiedenen Strahlmitteln auf bovine Zähne der 1. und 2. Dentition sowie humane Milchzähne] selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

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

Mohammad Khalefa

Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Herr Mohammad Khalefa hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation: Khalefa M, Finke C, Jost-Brinkmann P-G.: **Effects of air-polishing devices with different abrasives on bovine primary and second teeth and deciduous human teeth**, Journal of Orofacial Orthopedics, Fortschritte der Kieferorthopädie, 2013

Beitrag im Einzelnen: Es wurden im vorstehend genannten Artikel die Ergebnisse zu den Mittenrauwerten (R_a) und Wellentiefen (W_t) veröffentlicht. Die Ergebnisse zu den mittleren Rautiefen (R_z) und den maximalen Rautiefen (R_{max}) wurden bislang nicht publiziert.

Herr Khalefa hat alle praktischen Versuche selbst durchgeführt. Die angewandte Methodik geht auf Jost-Brinkmann zurück und dieser hat Herrn Khalefa in die praktische Versuchsdurchführung eingearbeitet. Dr. Finke hat wesentlich zur Gewinnung der untersuchten Zähne der 1. Dentition beigetragen und bei der Einbettung dieser Zähne geholfen. Dr. Finke und Jost-Brinkmann haben die Promotionsschrift und die Veröffentlichung korrekturgelesen.

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

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin