

In vitro Untersuchung zur Prophylaxe von Bürstabrasionen erodierter Schmelzoberflächen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Frank Westerfeld
aus Friedberg (Hessen)

Gießen 2002

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des
Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen
Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde
Direktor: Prof. Dr. Joachim Klimek

Betreuer: Frau Dr. Ganss
Gutachter: Prof. Dr. Klimek
Gutachter: Prof. Dr. Schulz

Tag der Disputation: 19. August 2002

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Literaturübersicht	2
2.1	Erosion und Abrasion	2
2.1.1	Prävalenz in der Bevölkerung	2
2.1.2	Erosion	3
2.1.3	Abrasion	6
2.2	Mechanisch bedingter Substanzverlust auf erodierten Zahnoberflächen	8
3.	Material und Methoden	12
3.1	Herstellung der Schmelzproben	12
3.2	Aufbau der Testapparatur	13
3.3	Durchführung des Bürstvorganges	15
3.3.1	De- und Remineralisationszyklus	15
3.4	Versuchsgruppen	16
3.4.1	Versuchsreihe 1 Variation des Bürstdrucks	17
3.4.2	Versuchsreihe 2 Variation des Bürstzeitpunktes	17
3.4.3	Versuchsreihe 3 Variation der Zahnpaste	18
3.5	Oberflächenmessung	18
3.5.1	Festlegung der Messbedingungen	19
3.5.2	Durchführung der Messung	20
3.5.3	Statistische Auswertung	20
3.6	Schematische Übersicht des Versuchsablaufs	21
3.7	Materialien	22
3.8	Chemikalien	22
4.	Ergebnisse	23
4.1	Versuchsreihe 1	25
4.2	Versuchsreihe 2	27
4.3	Versuchsreihe 3	29
4.3.1	Variation des Fluoridgehaltes	29
4.3.2	Variation der Abrasivität	31

5.	Diskussion	33
5.1	Versuchsaufbau und Durchführung	33
5.1.1	Probenmaterial	33
5.1.2.	Erosions- und Abrasionserzeugung	34
5.1.3.	Messmethode	35
5.2	Diskussion der Ergebnisse	35
5.2.1	Variation des Bürstdrucks	35
5.2.2	Variation des Bürstzeitpunktes	37
5.2.3	Variation der Zahnpaste	39
6.	Zusammenfassung	42
7.	Literaturverzeichnis	44

1. Einleitung

Der Zahnschmelz ist die härteste Substanz im menschlichen Körper (Hoffmann-Axthelm, 1995). Trotz seiner hoher mechanischer Widerstandsfähigkeit ist es heute unbestritten, dass durch das tägliche Zähneputzen geringe Mengen Schmelz an der Zahnoberfläche abgetragen werden. Dies zeigen einige Studien, in denen neu entwickelte Zahnbürsten und Zahnpasten im Vergleich mit früheren auf ihre Abrasivität untersucht werden (Sarker et al., 1997; Mc Ley et al., 1997; Schemehorn und Zwart, 1996).

Neben der hohen mechanischen Widerstandsfähigkeit besitzt der Zahnschmelz aber nur eine geringe Resistenz gegenüber Säureeinwirkung (Graehn, 1991). Nimmt man Säuren, z.B. in Form von sauren Erfrischungsgetränken oder Fruchtsäften, zu sich, wird die Schmelzoberfläche erweicht und bei länger anhaltender Einwirkung chemisch aufgelöst. Diese Defektbildung durch chemische Schmelzauflösung ohne Mitwirkung von Mikroorganismen nennt man Erosion (Imfeldt, 1996).

Beide Phänomene, die mechanische Abrasion und die Erosion, sind aber nicht nur für sich zu betrachten, sondern müssen bei der Zahnreinigung auch im Zusammenhang gesehen werden. Da die mechanische Abrasion der durch Säure erweichten Schmelzoberfläche bisher nur in geringem Ausmaß untersucht worden ist (Schweizer-Hirt et al., 1978), war der Grundgedanke dieser Studie, das Zusammenspiel zwischen Erosion und Abrasion bei der Zahnreinigung zu erforschen.

In dieser Arbeit wurde der Schmelzabtrag durch Zähneputzen nach dem Erodieren des Zahnschmelzes in vitro untersucht. Hierbei wurden Anpressdruck der Zahnbürste, zeitlicher Abstand zwischen Bürsten und Erodieren und die benutzte Zahnpaste variiert. Ziel dieser Arbeit war es, die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren und dem daraus resultierenden Schmelzverlust beim Zähneputzen zu erkennen.

Dazu wurden folgenden Hypothesen aufgestellt:

1. Die Erhöhung des Anpressdrucks des Zahnbürstenkopfes verursacht eine stärkere Abrasion des Zahnschmelzes.
2. Die Verlängerung des Intervalls zwischen Säureangriff und Zähneputzen verursacht eine geringere Abrasion des Zahnschmelzes.
3. Die Benutzung einer Zahnpaste mit größerer Abrasivität oder ohne Fluorid verursacht eine stärkere Abrasion des Zahnschmelzes.

2. Literaturübersicht

2.1 Erosion und Abrasion

2.1.1 Prävalenz in der Bevölkerung

Auf Grund forcierter Prophylaxebemühungen hat die Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in den letzten Jahren stark abgenommen. Noch vor rund zehn Jahren lag der Kariesindex DMF-T (Decayed, Missing, Filled Teeth) bei Kindern unter 12 Jahren in den alten Bundesländern bei 4,1 (Einwag, 1991). Im Jahr 1997 konnte in dieser Altersgruppe nur noch ein Kariesindex von 1,6 ermittelt werden (Micheelis et al., 1999). Jedoch scheint das Auftreten und der Schweregrad von Erosionen und Abrasionen in der Bevölkerung zuzunehmen. Natürlich sind Erosionen kein großes öffentliches Gesundheitsproblem, doch sollten sie nicht unterschätzt werden. Ihr Auftreten scheint nämlich nicht unmittelbar mit der größer werdenden Lebenserwartung der Menschen, den verbesserten Mundhygienemaßnahmen sowie einer besseren zahnärztlichen Versorgung und der damit längeren Gebrauchsdauer der Zähne in Zusammenhang zu stehen. Erosionen sind ein „Problem“ der jüngeren Patienten.

In einer neuen Studie wurden 1000 Situationsmodelle (vor kieferorthopädischer Behandlung) von Patienten mit einem Durchschnittsalter von 11,5 Jahren auf Erosionen untersucht. Diese Modelle waren im Zeitraum von 1977 bis 1999 hergestellt worden. Das Ergebnis zeigt, dass die Anzahl der Patienten mit Erosionen steigt. Während im Zeitraum von 1977 bis 1989 nur 6,3 % der Kinder Erosionen der bleibenden Zähne hatten, findet man im Zeitraum von 1990 bis 1999 Erosionen bei 15,1 % (Ganss et al., 2001). Dieser Anstieg ist wahrscheinlich auf ein verändertes Ernährungsverhalten zurückzuführen. Im Zuge des steigenden Gesundheitsbewusstseins nimmt der Konsum von potentiell erosiven Nahrungsmitteln und Getränken wie z.B. Früchten, Rohkost, Sport- und Softgetränken zu. Trotz gesunder Ernährung und oft sehr guter Mundhygiene steigt dadurch das Risiko für Zahnhartsubstanzverluste.

2.1.2 Erosion

Erosion wird definiert als oberflächlicher Zahnhartsubstanzverlust, verursacht durch Säuren ohne Mitwirkung von Mikroorganismen (Zipkin und Mc Clure, 1949). In der Literatur findet man die Schmelzerosion unter zahlreichen Synonyma wie Adamantolyse, Odontolyse, Schmelzulkus, Odontoklasie.

Ursachen für Erosionen sind entweder exogene oder endogene Faktoren:

Exogene Faktoren sind beispielsweise säurehaltige Nahrungsmittel wie Zitrusfrüchte und säurehaltige Getränke (Asher und Read, 1987; Eccles und Jenkins, 1974; Smith und Knight, 1984) sowie einige Medikamente, z.B. Vitamin C Kautabletten (Eriksson und Angmar-Mansson, 1986; Meurman und Murtomaa, 1986). Eine Studie berichtet sogar, dass einige Mundhygieneartikel wie Mundspüllösungen organische Säuren enthalten, die bei übermäßiger Anwendung zu Erosionen führen können (Rytömaa et al., 1989).

Unter die endogenen Ursachen fallen Anorexia und Bulimia nervosa mit häufigem Erbrechen (Scheutzel, 1996) oder Refluxerkrankungen.

Die Erosion stellt sich als eine chronische, meistens schmerzlos verlaufende, flächenhafte zentripetale Defektbildung durch Schmelz- und später auch Dentinentkalkung dar. Der Schmelz weist dann an der Oberfläche ein Honigwabenschmelzmuster auf, das an eine Säureätzwirkung erinnert.

Klinisch kann zwischen einer Früh- und Spätläsion unterschieden werden. Die initiale Schmelzerosion (*Frühläsion*) ist eine kaum wahrnehmbare Schmelzläsion. Die typische Schmelzstruktur ist dabei verändert. Es kommt zu einem Verlust der typischen Schmelzmorphologie (Perikymatien) und der Transparenz. Auch bei Jugendlichen fehlen in diesen erodierten Bereichen die Perikymatien. Der Zahnschmelz sieht glatt und matt glänzend aus. Beim Fortschreiten der Erosion kommt es zu einer deutlichen Abflachung konvexer Zahnflächen bzw. zu einer Vertiefung konkaver Flächen. Der zunehmende Verlust des Schmelzes führt schließlich zur Freilegung des Dentins (*Spätläsion*) (Lussi et al., 1992).

Meurman und Frank (1991a) haben ultrastrukturelle in vitro Untersuchungen über das Fortschreiten von Erosionen im prismatischen und aprismatischen Schmelz durchgeführt. Die dazu notwendigen Schmelzproben wurden sowohl aus menschlichen Zähnen als auch aus Rinderzähnen gewonnen. Diese Proben wurden dann für bestimmte Zeitperioden in definierte Säurelösungen eingetaucht und anschließend unter dem Elektronenmikroskop ausgewertet. Dabei konnte gezeigt werden, dass

sowohl im bovinen als auch im menschlichen prismatischen Schmelz bei Applikation von Zitronen-, Phosphor- oder Apfelsäure gleichermaßen zunächst die Prismenscheide, dann die Prismenzentren und zuletzt die interprismatische Substanz des Schmelzes aufgelöst werden. Aprismatischer Schmelz hingegen erodiert in einer sehr unregelmäßigen Art und Weise (Meurman und Ten Cate, 1996).

Es gibt bisher nur wenige epidemiologische Erhebungen zur Prävalenz oder Inzidenz von Erosionen. Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien ist schwierig, da die Beurteilung des Schweregrades von Erosionen nicht standardisiert ist. Dementsprechend variieren die veröffentlichten Daten über die Prävalenz von Erosionen in der Normalbevölkerung sehr stark von 2 % bis hin zu 25 % (Pindborg, 1970; Xhonga und Valdmanis, 1983; Xhonga-Oja und Valdmanis, 1986). Sognaes et al. untersuchten 1972 in den USA 10000 extrahierte Zähne. Hierbei wiesen 18 Prozent erosionsähnliche Läsionen auf. Eine weitere Studie aus den USA ergab eine Erosionsprävalenz von 3 % (Centerwall et al., 1986), während Jarvinen et al. (1991) in einer Untersuchung aus Finnland eine Prävalenz von 5 % ermittelten. In einer klinischen Studie von Xhonga und Valdmanis (1983) wurden Erosionen sogar bei 25 % von 527 Patienten festgestellt. In der Schweiz wurden 391 Erwachsene im Alter zwischen 26 und 50 Jahren untersucht. Am häufigsten waren Okklusalfächen betroffen; hier hatten 29,9 % der jüngeren und 42,6 % der älteren Personen bereits erosive Defekte mit Dentinbeteiligung (Lussi et al., 1991). In einer weiteren Studie (Jaeggi und Lussi, 1999) wurden 417 Rekruten der Schweizer Armee untersucht. 82 % der Probanden zeigten bereits schwach ausgeprägte, schmelzbegrenzte okklusale Erosionen, 30,7 % stark ausgeprägte Erosionen mit Dentinbefall.

Andere Werte fanden sich in einer neuen deutschen Studie. Es wurden 362 Wehrdienstleistende bei der zahnärztlichen Eingangsuntersuchung auf Erosionen untersucht. Das Durchschnittsalter betrug 21 Jahre. Bei 23 % der Probanden wurden leichte schmelzbegrenzte Erosionen festgestellt, 4 % der Rekruten wiesen ausgeprägte Erosionen mit Dentinbefall auf (Ganss et al., unveröffentlicht).

In einigen Personengruppen finden sich höhere Prävalenzwerte, als es bei der Normalbevölkerung der Fall ist. Zu diesen Risikogruppen gehören Personen mit besonderen Ernährungsformen, mit Eßstörungen und Magen-Darm-Erkrankungen sowie Menschen, die unter Alkoholabusus leiden.

Linkosalo und Markkanen (1985) haben eine Untersuchung bei 26 Patienten mit laktovegetarischer Diät durchgeführt. Dabei wiesen 76,9 % der Patienten Erosionen an den okklusalen Zahnflächen auf, davon 26,9 % leichte, 19,2 % mittelschwere und 30,8 % schwere Formen. Nur 23,1 % der Laktovegetarier zeigten keine Erosionen. In einer weiteren Studie haben Ganss et al. (1999) das Auftreten von Erosionen bei 130 Patienten untersucht, die sich nahezu ausschließlich von Rohkost ernährten (Rohkostanteil mehr als 95 %). Sie kamen bei dieser Personengruppe zu Prävalenzwerten von 97 %. Die Versuchsteilnehmer nahmen Zitrusfrüchte mit einer Häufigkeit von 4,8 mal pro Tag auf. Der Anteil von Früchten an der gesamten Nahrung betrug 62 %. Dies entspricht einem durchschnittlichen Verbrauch von 9,5 kg Früchten (Minimum 1,5 kg, Maximum 23,7 kg) pro Woche.

Als weitere Risikogruppe sind Patienten mit Eßstörungen zu nennen; darunter fallen z.B. die beiden Krankheitsbilder der Anorexia und Bulimia nervosa. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Schwere des Mineralverlustes durch Erosionen und der Dauer des gastroösophagealen Refluxes konnte nicht bestätigt werden (Lussi et al., 1992; Scheutzel, 1996). In einer weiteren klinischen Untersuchung von insgesamt 107 Patienten mit Refluxkrankheit wurden bei 26 % (28 Fälle) Erosionen gefunden. Die Betroffenen waren älter und litten schon längere Zeit an der Krankheit als die Patienten ohne erkennbare Erosionen an den Zähnen. Zusätzlich war die Schwere des Krankheitsbildes bei den Patienten mit Erosionen ausgeprägter (Meurman et al., 1994).

Alkoholabusus als weiterer ätiologischer Faktor für Erosionen bleibt häufig unentdeckt. Dabei sind etwa 10 % der Erwachsenen dem Alkoholismus verfallen (Christen, 1983; Brickley und Shepherd, 1989). Smith und Knight (1984) fanden bei 9 von 18 Patienten mit Erosionen chronischen Alkoholismus mit daraus folgendem Erbrechen und Regurgitation als Ursache für die Erosionen. Im Gegensatz dazu stellten Robb und Smith (1990) sogar bei 34 von 37 alkoholkranken Personen Erosionen fest.

Wiewohl nun hinsichtlich der Erosionen Risikogruppen beschrieben werden können, korreliert im Einzelfall die Ausprägung erosiver Substanzverluste nicht unbedingt mit der Intensität der Säureangriffe. Offensichtlich gibt es hier ausgeprägte individuelle Prädispositionen, wobei neben der Zusammensetzung der Zahnhartsubstanz wahrscheinlich auch der Speichel eine große Rolle spielen könnte (Mannerberg, 1963; Meurman et al., 1987).

2.1.3 Abrasion

Neben säurebedingtem Substanzverlust spielt auch mechanisch bedingter Substanzverlust eine Rolle. Hierbei unterscheidet man den Substanzverlust durch Gegenzähne (Attrition), durch Nahrungsmittel (Demastikation) und durch Fremdkörper wie z.B. Zahnbürste und Zahnpaste (Abrasion) (Imfeld, 1996). Abrasionen können vielfältige Ursachen haben. So treten Abrasionen z.B. bei Bergarbeitern durch eine höhere Staubkonzentration in der Luft auf. Davon abgrenzen muss man sogenannte "Habits". Sie entstehen durch gewohnheitsmäßiges Aufbeißen auf Gegenstände (Nadel beim Schneider, Kugelschreiber, Pfeife usw.)

Der häufigste Grund für Abrasionen ist das Zähneputzen, besonders in Kombination mit abrasiven Zahnpasten. Das Ausmaß des Anteils der Zahnpastenabrasion an der mechanischen Abtragung ist aber nicht bekannt. Abrasionsgrad, Zahnbürstentyp und Zahnputztechnik tragen zum klinischen Effekt bei (Newesely, 1987). Die Stärke dieses mechanischen Effektes wird durch viele Faktoren beeinflusst. So beschäftigen sich zahlreiche Studien damit, verschiedenste Einflüsse wie die Art der Zahnbürste (mechanisch oder elektrisch), Form der Borsten (abgerundet oder nicht abgerundet), Anpressdruck der Zahnbürste, Putztechnik, Abrasivität der Zahncreme und Fluoridgehalt der Zahncreme und deren Auswirkung auf die Stärke der Abrasivität zu erforschen.

Der Anpressdruck der Zahnbürsten wird seit längerer Zeit untersucht. Fraleigh et al. führten schon 1967 eine Studie zur Feststellung des durchschnittlichen Anpressdrucks durch. Sie versahen Zahnbürsten mit einem Drucksensor und konnten so die ausgeübten Kräfte beim Zähneputzen erfassen. 208 Personen (151 Männer, 75 Frauen) im Alter zwischen 4 und 65 Jahren nahmen an der Studie teil. Die Bandbreite der gemessenen Werte war so groß, dass kein hypothetischer Standardwert ermittelt werden konnte, der für einen Einsatz bei künftigen Laborstudien geeignet war.

Mierau, Haubitz und Völk (1989) untersuchten Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste. Bei dieser Studie wurden von 45 weiblichen und männlichen Studenten verschiedener Fachrichtungen mit einem Durchschnittsalter von 24 Jahren Mundhygienemaßnahmen „wie zu Hause üblich“, ohne zeitliche Begrenzung, durchgeführt. Ohne jede Erklärung über Sinn und Zweck des Versuchs bekamen die Probanden eine Zahnbürste, die mit einer EDV-Anlage verbunden war, und sollten dann in einer einem Badezimmer möglichst ähnlich gestalteten Umgebung Mundhygienemaßnahmen durchführen. Dabei wurden sie durch einen Spionspiegel

beobachtet. Es zeigte sich, dass Mundhygienemaßnahmen vornehmlich und nahezu automatisch ausgeführt werden. Interessant ist, dass ab einer Bürstkraft von 2 Newton beim gewohnheitsmäßigen Zähneputzen akute und chronische Bürstläsionen häufiger auftreten.

Dass eine Verringerung des Bürstdrucks keinen negativen Effekt auf den Reinigungseffekt haben muss, zeigt eine Studie von Klimek und Hellwig (1989). In dieser wurde der Reinigungseffekt einer neu eingeführten Zahnbürste, die als besonderes Merkmal einen dünnen dauerelastischen Hals zur Reduktion des Scheuerdrucks und einen besonders flachen Bürstenkopf aufweist, klinisch mit zwei erprobten Zahnbürsten verglichen. 30 Probanden testeten unter identischen Versuchsbedingungen alle drei Zahnbürsten. Die Erfassung der Zahnbeläge erfolgte mit dem Plaque-Index für Zahnbürstenstudien (Huber et al., 1985). Insgesamt bestanden in Bezug auf die Reinigungswirkung keine signifikanten Differenzen. Die Einschränkung des Anpressdruckes durch den dauerelastischen Hals der Zahnbürste hatte also keine Verminderung des Reinigungseffektes zur Folge.

Borstenhärte und Design haben ebenfalls Auswirkung auf den Zahnhartsubstanzverlust. Eine Laborstudie untersuchte die Auswirkung verschieden harter Zahnbürsten (unterschiedlicher Borstendurchmesser) auf die Abrasion (Dyer et al., 2000). Acrylglasplatten wurden unter Verwendung einer Standardzahnpaste mit jeweils 20000 Streichen gebürstet. Der Materialverlust wurde profilometrisch bestimmt. Messungen des Substanzverlustes wurden bei je 5000 Bewegungen aufwärts gemacht. Der Substanzverlust für alle Bürsten zeigte einen nahezu linearen Anstieg. Durch die harten Bürsten entstand dabei signifikant weniger Abrieb als durch die weichen Bürsten. Dieses Ergebnis kann durch die vermehrte Retention der Zahnpaste an schmälere Borsten und dichtere Büschel bei weichen Zahnbürsten und die größere Biegung der Borsten erklärt werden, die zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche mit der Oberfläche führt.

Ebenso wie bei der Härte der Zahnbürsten gibt es auch bei der Abrasivität der Zahnpasten große Unterschiede. Barbakow et al. (1989) untersuchten dies an 32 verschiedenen Zahnpasten, die in der Schweiz im Handel waren. Zur Bestimmung der REA (Schmelzabrasionswert) und RDA (Dentinabrasionswert) Werte wurden Schmelz und Dentinproben bei einer Gewichtsbelastung von 150 g mit 10000 Streichen gebürstet. Als Standardabrasionsstoff wurde Kalziumpyrophosphat verwendet, dem

der Bezugswert 100 für die RDA- und 10 für die REA- Bestimmung zugeordnet wurde. Die RDA-Werte der 32 Zahnpasten lagen zwischen 37 und 203, die REA-Werte zwischen 1,0 und 11,7. Nur die Hälfte der getesteten Zahnpasten hatten einen RDA-Wert unter 100.

In einer neueren Studie untersuchte Wülknitz (1997) die RDA-Werte von 41 in Europa erhältlichen Zahnpasten. Diese Studie zeigt, dass die Abrasivität der Zahnpasten bei gleichbleibendem Reinigungseffekt abgenommen hat. Wülknitz führt dies auf die Verwendung von hochqualitativen Abrasionsmitteln in den Zahnpasten zurück. 80 % der untersuchten Zahnpasten wiesen einen RDA-Wert von unter 100 auf, die restlichen Pasten einen RDA-Wert zwischen 100 und 200.

2.2 Mechanisch bedingter Substanzverlust auf erodierten Zahnoberflächen

In vivo muß man annehmen, dass Erosion und Abrasion fast immer in Kombination vorkommen. Schmelzareale mit einem erosionsbedingten Oberflächenhärteverlust werden durch mechanische Einflüsse wesentlich stärker abradieret.

Der Zahnschmelz ist im ausgereiften Zustand mit einem Mineralanteil von 95 % seines Gewichtes das am stärksten mineralisierte Zellprodukt des menschlichen Körpers (Schroeder, 1992). Seine enorme Härte sowie die Prismenstruktur verleihen ihm normalerweise eine sehr hohe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Kräfte. Einer Säureeinwirkung gegenüber besitzt der Zahnschmelz jedoch nur eine geringe Resistenz (Graehn, 1991). Die Härte des Zahnschmelzes wird schon durch kurzes Einlegen in Säuren beträchtlich reduziert.

Von Schweizer-Hirt u.a. wurde experimentell der Härteabfall des Schmelzes durch 5 minütige Einwirkung von Orangensaft nachgewiesen. Im Durchschnitt sank die Knoop-Härte um 17 % (Schweizer-Hirt, 1978). Aeschbacher hatte zuvor durch Zitronensäurebehandlung eine Härtereduktion des Schmelzes um 27 % nach bereits 2,5 minütiger Einwirkung erzielt (Aeschbacher, 1967). Hierbei konnte auch gezeigt werden, dass die durch Orangensaft erweichten Schmelzproben leichter mit der Zahnbürste abradierbar sind als die unbehandelten Schmelzproben (Schweizer-Hirt, 1978, Attin et al., 2000).

Erosiv geschädigte Zähne haben also einen erhöhten Schmelzverlust durch Zahnreinigung. Trotzdem ist bis jetzt nur wenig bekannt über Empfehlungen zu Mundhygienemaßnahmen bei Patienten mit Erosionen.

Im allgemeinen wird den Patienten angeraten, zwischen Nahrungsaufnahme und Zahnreinigung eine gewisse Zeit zu warten, um den erodierten Schmelz durch den Speichel zu remineralisieren. Weiterhin wird empfohlen, Mundhygieneprodukte mit hohem Fluoridanteil zu benutzen.

Dass eine Verlängerung der Mineralisationszeit einen verminderten Schmelzverlust zur Folge hat, zeigen folgende Studien. Jaeggi und Lussi demineralisierten Schmelzproben für 3 Minuten in 0,1 molarer Zitronensäure und ließen sie dann von 7 Testpersonen für 30 bzw. 60 Minuten intraoral tragen. Anschließend wurden die Proben für 30 Sekunden mit Zahnbürste und Zahnpaste gebürstet. Dabei kam es zu folgenden Substanzverlusten:

$0,258 \pm 0,141 \mu\text{m}$ beim Bürsten sofort nach dem Erodieren

$0,224 \pm 0,087 \mu\text{m}$ beim Bürsten nach 30 minütigem Verweilen im Mundhöhlenmilieu

$0,195 \pm 0,075 \mu\text{m}$ beim Bürsten nach 60 minütigem Verweilen im Mundhöhlenmilieu

Durch die remineralisierende Wirkung des Speichels wurde der Substanzverlust mit zunehmender Zeit geringer. Daraus leitete Jaeggi die Empfehlung ab, nach dem Verzehr erosiver Nahrungsmittel mindestens eine Stunde mit dem Zähneputzen zu warten (Jaeggi et al., 1999).

Attin et al. (2000) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. In ihrer in vitro Studie wurden Schmelzproben mit einem erosiven Erfrischungsgetränk (Sprite light) 1 min lang demineralisiert und für 0 min, 10 min, 60 min und 240 min in künstlichen Speichel eingelegt. Anschließend erfolgte das Bürsten der Proben mit 100 Streichen einer Zahnbürste. Dieser Zyklus wurde zehnmal durchlaufen, um danach den Substanzverlust profilometrisch zu untersuchen. Die Abrasionsfestigkeit des erodierten Schmelzes stieg mit zunehmender Remineralisationszeit.

Bei dieser Wiedererhärtung von erodiertem Schmelz handelt es sich nicht um eine Restitutio ad integrum durch reversibles Wachstum der angeätzten und teilweise aufgelösten Apatitkristalle, sondern eher um eine Reparatur der porösen Strukturen durch Präzipitation verschiedener, in Säuren schlecht löslicher Kalziumphosphate (z.B. $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) in die aufgelockerte poröse Schmelzstruktur hinein (Schweizer-Hirt, 1978). Dadurch nimmt die Oberflächenhärte zu und die Permeabilität ab.

Ebenso hat auch der Fluoridanteil in den heutigen Zahnpasten Einfluss auf die Oberflächenhärte und damit auf die Widerstandsfähigkeit des Zahnschmelzes. Dies zeigten Davis und Winter schon 1977 in einer Untersuchung. Sie stellten Schmelz und Dentinproben her, die so mit PVC Band abgedeckt wurden, dass von der Oberfläche nur ein 2 mm breiter Streifen frei lag. Die Proben wurden in 2 Gruppen eingeteilt. Die eine Gruppe wurde für 10 min einem erosiven Medium ausgesetzt, die andere zuerst für 1 min in ein fluoridiertes Zahnpaste-Wasser-Gemisch eingelegt und anschließend ebenfalls 10 min erodiert. Die Auswertung erfolgte profilometrisch. Durch Einlegen in die Zahnpastelösung konnte der Schmelzverlust um ca. 20 % verringert werden.

Tierexperimentelle Studien zeigten ebenfalls, dass Fluorid einen protektiven Charakter bei der Entstehung von Schmelzerosionen besitzt (Sorvari, 1989; Shabat et al., 1975). Interessant ist hierbei eine Studie von Attin et al. (1999). Schmelzproben aus extrahierten Schneidezähnen von Rindern wurden 5 min in Sprite Light (erosives Erfrischungsgetränk) erodiert und anschließend 1 min in künstlichem Speichel remineralisiert. Anschließend erfolgte das Bürsten der Proben in 4 verschiedenen Gruppen mit 4 unterschiedlichen Gels (2 fluoridierte Gels mit pH 7 und pH 4,5; 2 unfluoridierte Gels mit pH 7 und pH 4,5). Nach erneuter Remineralisation in künstlichem Speichel für 1 min wurde dieser Zyklus dreimal wiederholt. Die Abrasionswerte bei den fluoridierten Gels lagen signifikant niedriger als bei den nicht fluoridierten. Erwartungsgemäß verursachte das saure nicht fluoridierte Gel den stärksten Substanzverlust. Überraschend war, dass das saure fluoridierte Gel den geringsten Schmelzverlust zur Folge hatte. Man versucht, dies durch die im sauren Milieu vermehrte Verfügbarkeit von freien Calciumionen zu erklären, die zu einer vermehrten Bildung von Calciumfluorid führt. Empfehlungen zur Erosions- und Abrasionsprophylaxe aus diesen Studien sind jeweils nur auf einen Faktor ausgerichtet. Studien zum Einfluß verschiedener Bürstdrücke und Abrasivitäten von Zahnpasten auf erodierte Schmelzflächen fehlen gänzlich.

Ziel dieser Arbeit war es daher, die für den mechanisch bedingten Substanzverlust erweichter Zahnoberflächen wesentlichen Faktoren wie Bürstdruck, Abrasivität der Zahnpaste, Remineralisationszeit und Fluoridgehalt zu untersuchen und damit eine Grundlage für Empfehlungen zu Mundhygienemaßnahmen bei Patienten mit Erosionen zu schaffen.

3. Material und Methoden

3.1 Herstellung der Schmelzproben

Zur Durchführung der Studie wurden ausschließlich menschliche, retinierte dritte Molaren verwendet, die vor der Osteotomie keinen Kontakt zur Mundhöhle hatten. Zähne, die eine Beschädigung einer oder mehrerer Seitenflächen durch die Extraktion aufwiesen, wurden aussortiert. Die Weisheitszähne stammten aus verschiedenen zahnärztlichen Praxen. Zur Desinfektion und Konservierung wurden die Zähne unmittelbar nach ihrer Entfernung in gesättigter Thymollösung (Chem. 1) aufbewahrt.

Die Probenherstellung erfolgte mit Hilfe einer diamantierten Bandsäge (Mat. 1). Zunächst wurden die Zähne unter fließendem Wasser von Blut und Weichgewebsresten befreit. Anschließend erfolgte die Abtrennung der Wurzeln im Bereich der Schmelz-Zement Grenze. Die so gewonnen Zahnkronen wurden mit einem lichthärtenden Fixationskleber (Chem. 2) auf einem Plexiglasobjektträger (Mat. 2) fixiert und mit dessen Hilfe am Schlitten der Säge befestigt. Unter Wasserkühlung und mit einem gleichbleibenden Druck von 50 g wurde dann eine ca. 4×4 mm große Seitenfläche des Zahnes mit einer Dicke von 1 bis 1,5 mm abgetrennt. Dieser Vorgang wurde an den verbleibenden 3 Seitenflächen so wiederholt, dass ein Dentinblock mit okklusaler Schmelzfläche übrig blieb. Die Schmelzscheiben wurden sofort mittels Fixationskleber (Chem. 2) mit der gesägten Seite auf Plexiglasobjektträgern (Mat. 3) fixiert und die Objektträger mit Probennummer, Zahn und Zahnfläche beschriftet. Anschließend wurde die Schmelzoberfläche im Mikroschleifsystem (Mat. 4) mit verschiedenem Schleifpapier so bearbeitet, dass ein ca. 2×4 mm großes planes Areal entstand. Zunächst wurden mit einem grob gekörnten Schleifpapier (Mat. 5 Körnung 1000) ca. 300 µm Zahnschmelz abgetragen und dann das so entstandene Areal mit feingekörntem Schleifpapier (Mat. 6 Körnung 1200) 60 s lang auf Hochglanz poliert. Die Schleifvorgänge erfolgten ebenfalls unter Wasserkühlung. Abschließend wurde die Hälfte der Versuchsfläche gleichmäßig mit einer dünnen Schicht Fixationskleber (Mat. 2) abgedeckt (Abb. 1). Die Proben wurden während des ganzen Herstellungsprozesses stets mit Wasser feucht gehalten, um so ein Austrocknen zu verhindern. Nach der Fertigstellung wurden die Proben in mit Leitungswasser gefüllten Glaskästen aufbewahrt. Insgesamt wurden auf diese Art und Weise aus 75 Zähnen 300 Proben hergestellt.

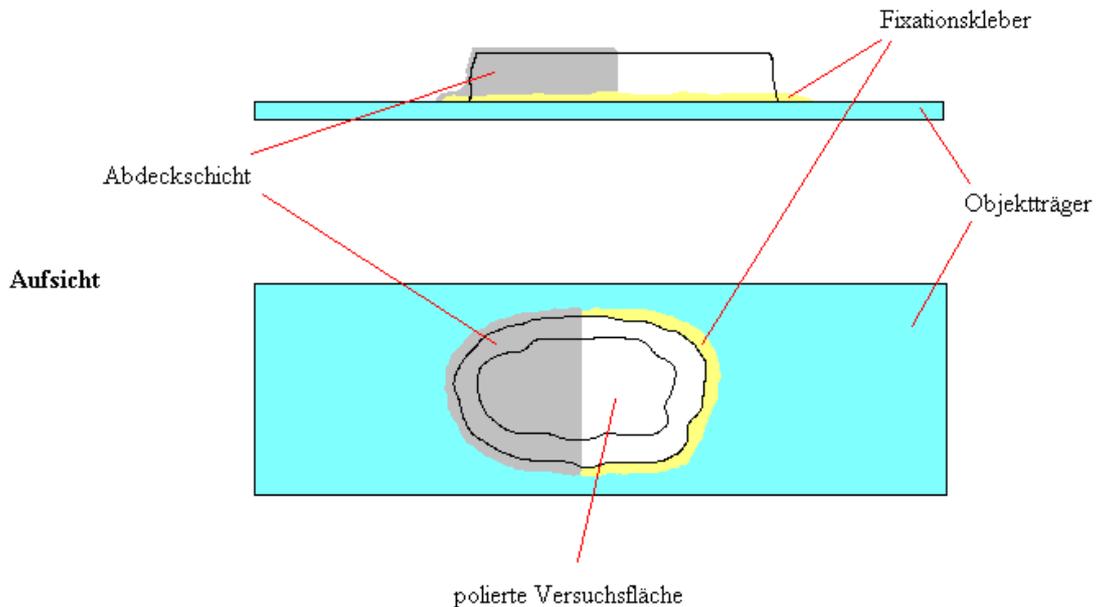
Seitenansicht

Abb. 1: Schematische Darstellung der für die Bürstversuche fertiggestellten Proben

3.2 Aufbau der Testapparatur

Voraussetzung für die Durchführung der Versuchsreihen war, eine Apparatur zu entwickeln, mit deren Hilfe man die Proben gleichmäßig mit einem konstanten Druck bürsten konnte. Als Grundelement wurde eine handelsübliche elektrische Zahnbürste (Mat. 7) gewählt. Die Testapparatur musste so konstruiert sein, dass sie trotz der starken Vibrationen der elektrischen Zahnbürste einen konstanten Anpressdruck des Bürstenkopfes auf die Probe gewährleistete. Vorversuche hatten gezeigt, dass sich die Verschraubung beim Einspannen der elektrischen Zahnbürste in ein Stativ durch die Vibrationen schnell lockerte. Daher wurde die elektrische Zahnbürste in einem Gerüst so montiert, dass sich der Bürstenkopf in der Vertikalen frei bewegen konnte (Abb. 2).

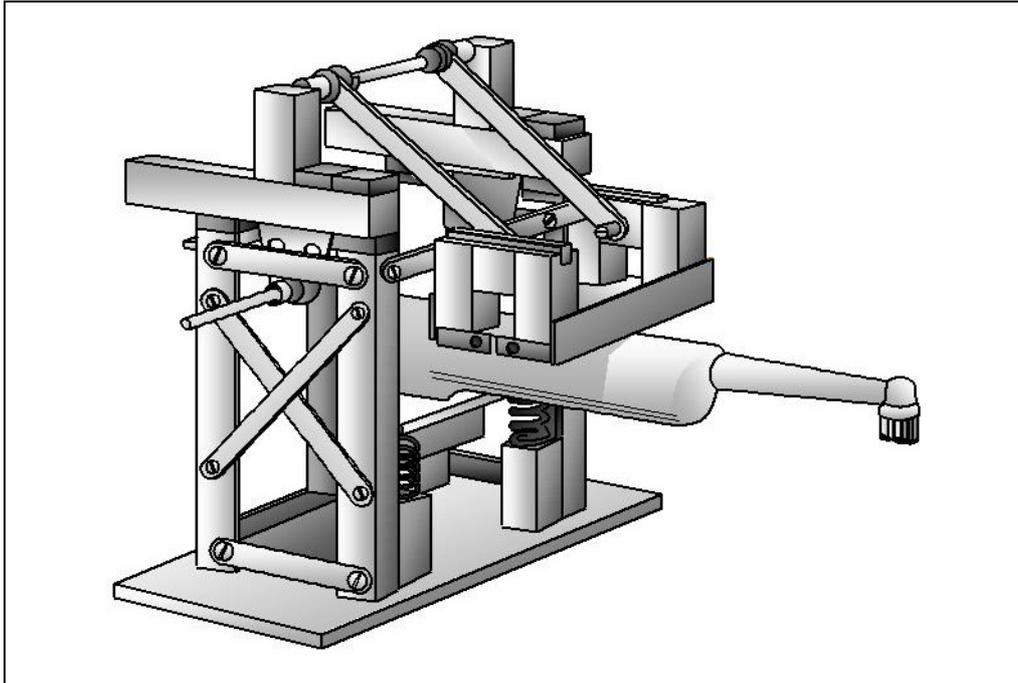


Abb. 2: Schematische Darstellung der Haltevorrichtung für die elektrische Zahnbürste

Die Einstellung des gewünschten Anpressdrucks des Bürstenkopfes auf die Probe erfolgte durch Einbringen von Bleigewichten in eine auf der Oberseite der elektrischen Zahnbürste montierte Haltevorrichtung. Um den Anpressdruck während des gesamten Bürstvorganges kontrollieren zu können, wurde die Haltevorrichtung der Proben auf einer elektrischen Waage (Mat. 8) befestigt. Sowohl die Testapparatur wie auch die Waage wurden auf einer festen Unterlage fixiert, um eine Positionsänderung durch die Vibrationen zu vermeiden. Eine elektrische Stoppuhr (Mat. 9) diente dazu, die vorgesehene Bürstzeit von jeweils 3 Minuten zu überwachen.

Aus der elektrischen Zahnbürste (Mat. 7) wurde der Akku entfernt und diese per Kabel mit einem Transformator verbunden, um eine gleichbleibende Stromversorgung und damit eine gleichbleibende Bürstleistung während der Versuche zu gewährleisten. Der Betrieb der Zahnbürste erfolgte bei einer Spannung von 2,3 V.

3.3 Durchführung des Bürstvorganges

Zunächst wurde die jeweilige Probe mit Leitungswasser abgespült und mit dem Auge auf Verunreinigungen oder Beschädigungen der Abdeckschicht kontrolliert. Die Fixation der Probe erfolgte mittels einer Klemmvorrichtung auf der elektrischen Waage. Zum Bürsten wurde jeweils 1 ml einer Zahnpaste-Lösung mit einer Eppendorf-Pipette auf die Probe gegeben. Die verwendeten Zahnpasten wurden nach Gewicht im Verhältnis 1:3 mit Wasser gemischt, um eine zum Bürsten geeignete Lösung zu bekommen.

Vor dem Aufsetzen des Bürstenkopfes wurde die Waage auf 0 g geeicht, um den erforderlichen Bürstdruck während des Putzvorganges direkt kontrollieren zu können.

Nun wurde der Timer der Stoppuhr auf 3 min eingestellt und der Bürstvorgang durchgeführt. Anschließend wurde die Probe entfernt, 10 s lang unter fließendem Wasser gesäubert und zur Aufbewahrung in eine feuchte Kammer gegeben. Nach Reinigung der Haltevorrichtung und Ausspülen des Bürstenkopfes (Mat. 10) wurde mit den weiteren Proben ebenso verfahren.

Jeweils eine Testgruppe (25 Proben) wurde mit einem fabrikneuen Bürstenkopf gebürstet. Die Proben einer Testgruppe wurden in einer festen Reihenfolge gebürstet, die jeden Tag wechselte. Wenn am ersten Tag in der Reihenfolge Probe 1 bis Probe 25 gebürstet wurde, so war am nächsten Tag die Reihenfolge umgekehrt, um eine eventuelle Abnutzung der Zahnbürste zu kompensieren.

Jede Probe sollte jeweils 5 mal für 3 min gebürstet werden, so dass eine Versuchsreihe (jeweils 100 Proben) in 5 Tagen durchgeführt werden konnte.

3.3.1 De- und Remineralisationszyklus

Zur erosiven Demineralisierung wurden die Proben für 30 min in 0,05 molare Zitronensäure eingelegt. Zur Herstellung dieser Lösung wurden 10,51 g Zitronensäure Monohydrat (Chem. 3) mit 1 Liter destillierten Wasser vermischt. Die so gewonnene Säure hatte einen pH Wert von 2,3. Anschließend wurden die Proben unter fließendem Wasser abgespült und entsprechend dem Versuchsplan weiterbearbeitet.

Zur Remineralisation des Schmelzes wurden außerhalb der Versuchsphasen alle Proben in einer Remineralisationslösung in einem Schüttelbad (Mat. 11) aufbewahrt. Diese wurde nach den Angaben von Gerrard und Winter (1986) hergestellt.

Der künstliche Speichel setzte sich wie folgt zusammen:

- A) Na_2HPO_4 0,4 g (Chem. 4) in 100 ml aqua dest
- B) KCl 1,5g (Chem. 5) in 100 ml aqua dest
- C) NaHCO_3 1g (Chem. 6) in 100 ml aqua dest
- D) CaCl_2 1g (Chem. 7) in 100 ml aqua dest

Zunächst wurden die angegebenen Chemikalienmengen unter ständigem Rühren in der aufgeführten Menge destillierten Wassers gelöst. Anschließend wurden die Lösungen A bis D miteinander vermischt und mit 600 ml aqua dest zu 1 Liter aufgefüllt. Dem so hergestellten künstlichen Speichel wurde dann soviel NaF (Chem. 8) zugefügt, dass eine Fluoridkonzentration von 0,04 ppm vorlag.

3.4 Versuchsgruppen

In der ersten Versuchsreihe wurden die Proben mit einer unterschiedlichen Gewichtsbelastung gebürstet, in der zweiten änderte sich der Zeitpunkt des Zähnebürstens zum Erodieren, in der dritten wurden unterschiedliche Zahnpasten benutzt. Jede Versuchsreihe war in 4 Gruppen unterteilt, in denen jeweils 25 Proben behandelt wurden.

Folgende Zahnpasten wurden verwendet :

- 1) Aronal (Chem. 9)
REA – Wert $3,0 \pm 0,8$ RDA – Wert 104 ± 3
Fluoridgehalt 0 % F^-
- 2) Dr. Best Zahnweiß (Chem. 10)
REA – Wert nicht existent RDA – Wert 180 ± 4
Fluoridgehalt 0,14 % F^- (Natrium-Monofluoro-Phosphat)
- 3) Colgate Gel (Chem. 11)
REA – Wert $2,2 \pm 0,1$ RDA – Wert 78 ± 4
Fluoridgehalt 0,15 % F^- (Natrium-Fluoride)
- 4) Elmex Gelée (Chem. 12)
Fluoridgehalt 1,25 % F^- (Olaflur, Dectaflur, Natriumfluorid)

Die Abrasionswerte von Elmex Gelée sind unwesentlich, da die Proben ohne Bürsten nur in eine Lösung eingelegt wurden.

Zum Bürsten wurde jeweils 1 ml einer Zahnpastenlösung mit einer Eppendorf-Pipette auf die Probe gegeben. Die verwendeten Zahnpasten wurden nach Gewicht im Verhältnis 1:3 mit Leitungswasser gemischt, um eine zum Bürsten geeignete Lösung zu bekommen.

3.4.1 Versuchsreihe 1 Variation des Bürstdrucks

In dieser Versuchsreihe wurden die Proben mit unterschiedlicher Gewichtsbelastung gebürstet.

Gruppe 1	100 g Gewichtsbelastung
Gruppe 2	200 g Gewichtsbelastung
Gruppe 3	300 g Gewichtsbelastung
Gruppe 4	400 g Gewichtsbelastung

Alle Proben dieser Versuchsreihe wurden direkt vor dem Bürsten mit Zitronensäure erodiert. Als Zahnpaste wurde Aronal-Lösung verwendet.

3.4.2 Versuchsreihe 2 Variation des Bürstzeitpunktes

Auch in Versuchsreihe 2 wurden alle Proben in 0,05 molarer Zitronensäure (Chem. 10) erodiert. Zum Bürsten wurden eine Gewichtsbelastung von 300 g und 1 ml einer Aronal-Lösung verwendet.

Gruppe 1	wurde nur erodiert und nicht gebürstet
Gruppe 2	wurde direkt vor dem Erodieren gebürstet
Gruppe 3	wurde nach dem Erodieren 1 Stunde lang in Remineralisationslösung gelagert und dann gebürstet
Gruppe 4	wurde nach dem Erodieren 2 Stunden lang in Remineralisationslösung gelagert und dann gebürstet

3.4.3 Versuchsreihe 3 Variation der Zahnpaste (Abrasivität und Fluoridgehalt)

In Versuchsreihe 3 wurden ebenfalls alle Proben in 0,05 molarer Zitronensäure angeätzt. Zum Bürstenden wurde eine Gewichtsbelastung von 300 g verwendet.

- | | |
|----------|--|
| Gruppe 1 | wurde ohne Zahnpaste mit 1 ml Leitungswasser gebürstet |
| Gruppe 2 | wurde mit 1 ml einer fluoridierten abrasiven Zahnpastenlösung (Dr. Best Zahnweiß) gebürstet |
| Gruppe 3 | wurde mit 1 ml einer fluoridierten Zahnpastenlösung (Colgate Gel) gebürstet |
| Gruppe 4 | wurde mit 1 ml einer fluoridierten Zahnpastenlösung (Colgate Gel) gebürstet und danach zusätzlich für 5 min in eine Elmex Gelée Lösung eingelegt |

3.5 Oberflächenmessung

Die Auswertung der Proben fand mit Hilfe der Profilometrie statt. Bei diesem Verfahren wird der oberflächliche Substanzverlust der bearbeiteten Versuchsfächen in Relation zur abgedeckten Referenzfläche gemessen. Die Oberflächenabtastungen erfolgten mit dem Perthometer S8P (Mat. 12). Dieses Gerät zur Erfassung von Oberflächenprofilen besteht aus einem Mikrotaster, einem Vorschubgerät und einem Computer zur Auswertung. Ein mechanisch mit dem Vorschubgerät verbundener Mikrotaster (Mat. 13) fährt das Profil der Schmelzoberfläche entlang der Grenzlinie zwischen behandeltem und unbehandeltem Schmelz ab (Tastschnittverfahren). Die Messwerte werden automatisch schon während des Messvorganges dem Computer übermittelt, so dass man auf dem Monitor den Messverlauf verfolgen kann.

Das Perthometer kann das gemessene Profil sowohl als graphische Darstellung wie auch in Form von berechneten Kenngrößen darstellen. Beides kann mittels eines Thermodruckers ausgedruckt werden.

3.5.1 Festlegung der Messbedingungen

Bei der Auswertung eines Oberflächenprofils ist die Wahl eines korrekten Vertikalbereiches (VB) von entscheidender Bedeutung. Dieser ist der Rahmen, in dem gemessen wird, und sollte daher so gewählt werden, dass alle Werte genau in ihm liegen. Nur so kann die hohe Auflösung der Messwertverarbeitung ausgenutzt werden. Der Vertikalbereich ist der zu messenden Profilamplitude möglichst gut anzupassen, d.h. der Vertikalbereich soll möglichst klein gewählt werden, aber noch groß genug sein, um alle Werte zu erfassen. Bei dem hier verwendeten Taster FRW-750 und den gemessenen Stufen erwies sich ein Vertikalbereich von $\pm 625,0 \mu\text{m}$ am günstigsten.

Von den standardmäßigen Taststreckenlängen (LT) beim Perthometer wurde die von 1,75 mm ausgewählt, da sie die größte war, die auf allen Proben verwendet werden konnte. Diesen standardmäßigen Taststreckenlängen waren jeweils die Grenzwellenlänge (λ_c) sowie die Geschwindigkeit zugeordnet, mit der der Taster die Oberfläche abfuhr. Für eine Taststreckenlänge von 1,750 mm waren eine Vorschubgeschwindigkeit des Tasters von 0,1 mm/s und eine Grenzwellenlänge von 0,250 mm vorgegeben. Jede Taststrecke wurde in sieben gleiche Abschnitte unterteilt:

- eine Vorlaufstrecke
- 5 Einzelmessstrecken
- eine Nachlaufstrecke

Die 5 Einzelmessstrecken bildeten die Gesamtstrecke, die zur Auswertung verwendet wurde. Vor- und Nachlaufstrecke waren aus messtechnischen Gründen erforderlich. Die Länge der Gesamtstrecke entsprach der Länge von 5 Grenzwellenlängen λ_c gemäß DIN 4768.

Auf jeder Probe wurden insgesamt 6 parallel liegende Taststrecken mit einem Abstand von 0,2 mm abgefahren, so dass insgesamt ein Rechteck von $1,75 \times 1 \text{ mm}$ abgetastet wurde. Aus diesen 6 Taststrecken berechnete der Computer die mittlere Dicke der abgetragenen Schmelzschicht, die für die statistische Auswertung verwendet wurde.

3.5.2 Durchführung der Messung

Nach der Versuchsdurchführung wurde die dünne Schicht Fixationskleber, die jeweils eine Hälfte der polierten Schmelzoberfläche bedeckte, vorsichtig mit einem Skalpell entfernt. Die Probe wurden dann unter fließendem Wasser gereinigt, die Oberfläche getrocknet und mittels Plastolinmasse mit ihrem Objektträger auf dem Messständer des Perthometers so befestigt, dass die Schmelzoberfläche parallel zur Bezugsebene des Tastsystems verlief. Diese Parallelität wurde durch eine Probemessung kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert.

Weiterhin wurde die Probe immer so ausgerichtet, dass die Abtastung jeweils von der unversehrten Seite in Richtung behandelte Seite verlief.

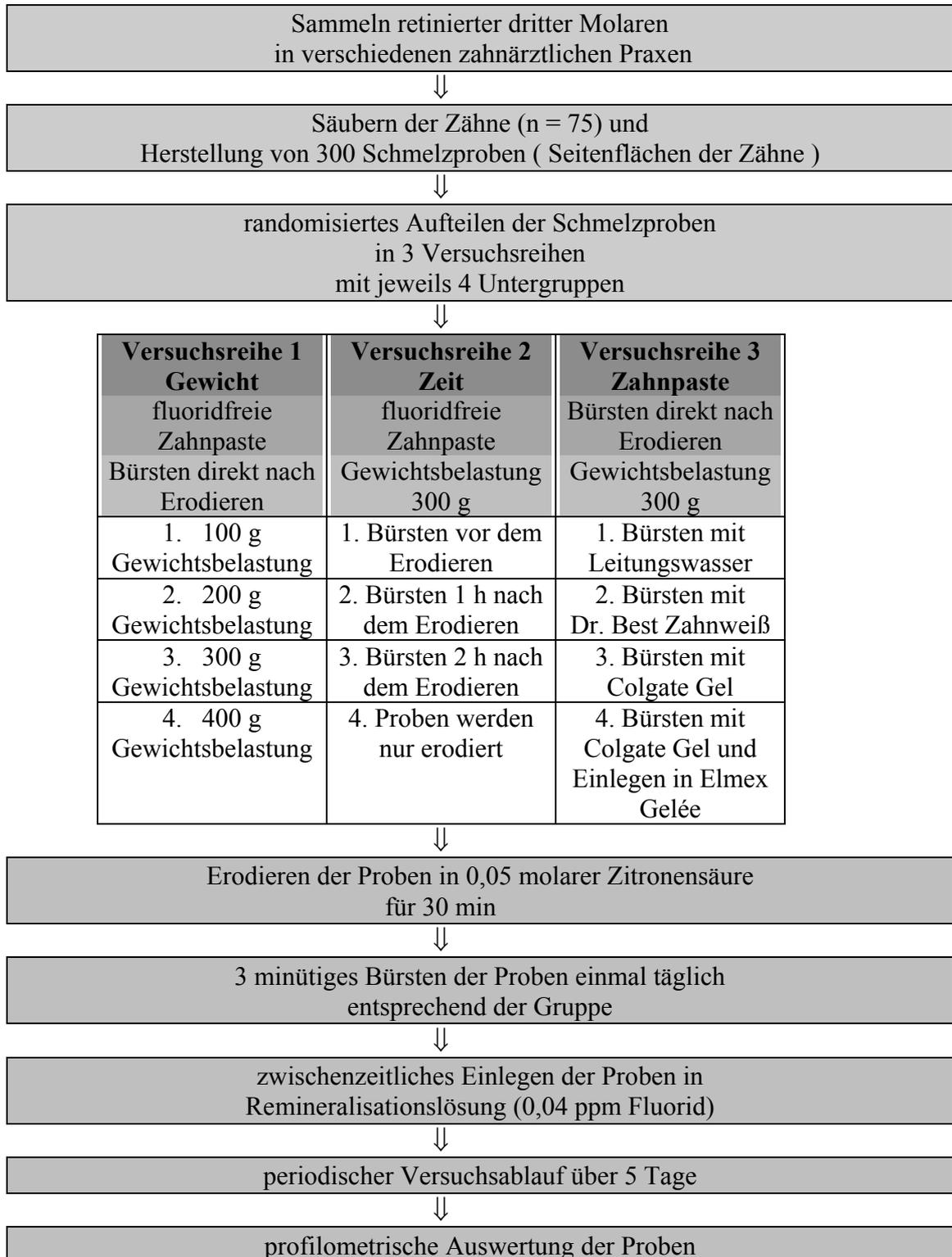
Wenn die oben angegebenen Kriterien erfüllt waren, erfolgte die endgültige Messung .

3.5.3 Statistische Auswertung

Die gemessenen Ergebnisse wurden in Microsoft Excel eingegeben und mit dem Programm SPSS Version 8.0 für Windows 95 statistisch ausgewertet.

Der angewandte Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass in den einzelnen Versuchsgruppen keine signifikante Abweichung zu Normalverteilung bestand. Anschließend wurden Mehrfachvergleiche unter den Gruppen mit ANOVA und dem Anschlussstest nach Scheffé durchgeführt.

3.6 Schematische Übersicht des Versuchsablaufs



3.7 Materialien

- Mat. 1 Exakt-Trennschleifsystem, Exakt-Apparatebau
O. Herrmann, Norderstedt (D)
- Mat. 2 Plexiglasobjektträger 5 × 10 cm, Exakt-Apparatebau
O. Herrmann, Norderstedt (D)
- Mat. 3 Plexiglasobjektträger mit Mattrand 76 × 26 mm, Menzel-Gläser,
Braunschweig(D)
- Mat. 4 Exakt-Mikroschleifsystem, Exakt Apparatebau
O. Herrmann, Norderstedt (D)
- Mat. 5 Schleifpapier FE 50, WB Flex 18A, Körnung P-1000, Hermes, (D)
- Mat. 6 Schleifpapier 1200 Grit, Körnung P-4000, Leco Corporation,
St. Joseph, (USA)
- Mat. 7 Braun Oral-B Plak Control Ultra timer, Braun AG, Frankfurt/Main (D)
- Mat. 8 Dr. Oetker elektrische Küchenwaage, Leifheit AG, Nassau (D)
- Mat. 9 Elektrische Stoppuhr, Hanhart, (D)
- Mat. 10 Braun Oral-B Plak Control EBI 9-2 Ultra,
Braun AG, Frankfurt/Main (D)
- Mat. 11 Schüttelbad Typ Nr. 3047, Köttermann, Hänigsen, (D)
- Mat. 12 Perthometer S8P, Feinprüf Göttingen, Göttingen (D)
- Mat. 13 Taster FRW-750; 6851401; Fa. Perthen, Mahr (D)

3.8 Chemikalien

- Chem. 1 Thymol Pulver, Fluka Chemie AG, Buchs (CH)
- Chem. 2 Fixationskleber Technovit 7230 VLC, Kulzer-Exakt, Wehrheim (D)
- Chem. 3 Zitronensäure (Zitronensäure-Monohydrat), Art. 242.1000, Merck,
Darmstadt (D)
- Chem. 4 Di-Natriumhydrogenphosphat, Art. 6586, Merck, Darmstadt (D)
- Chem. 5 Calciumchlorid reinst, Art. 4935, Merck, Darmstadt (D)
- Chem. 6 Natriumhydrogenkarbonat, Nr. B390/3051,
Riedel-De, Hän Ag, Hannover (D)
- Chem. 7 Calciumchlorid, Art. 2388, Merck, Darmstadt (D)
- Chem. 8 Fluoride, Art. 940907, Orion Research Inc., Beverly (USA)
- Chem. 9 Aronal, Wybert, Lörrach (D)
- Chem. 10 Dr. Best Zahnweiß, SmithKline Beecham GmbH & Co. KG, Bühl (D)
- Chem. 11 Colgate Gel, Colgat-Palmolive GMBH, Hamburg (D), Wien (AU)
- Chem. 12 Elmex Gelée, Wybert, Lörrach (D)

4. Ergebnisse

Schon nach dem ersten Versuchstag war bei allen Proben makroskopisch ein Substanzverlust zu erkennen. Die nach dem Polieren spiegelnde Schmelzoberfläche erschien nun matt und kreideweiß – opak. An der Grenzlinie (durch Lack abgedeckte - nicht abgedeckte Probenoberfläche) hatte sich eine kleine Stufe gebildet. An den weiteren Versuchstagen schritt der Substanzverlust und damit die Stufenbildung kontinuierlich fort. Eine weitere makroskopische Veränderung der Oberfläche war nicht zu erkennen.

Nach Beendigung der Versuchsreihen war bei allen Proben eine deutliche Stufenbildung mit dem bloßen Auge erkennbar. Die gebürsteten Flächen machten einen planen, homogenen Eindruck. Der Übergang von der hochglanzpolierten Schmelzfläche auf die gebürstete fand entlang der Grenzlinie gleichmäßig innerhalb sehr kurzer Distanz statt.

Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen solchen Übergang.

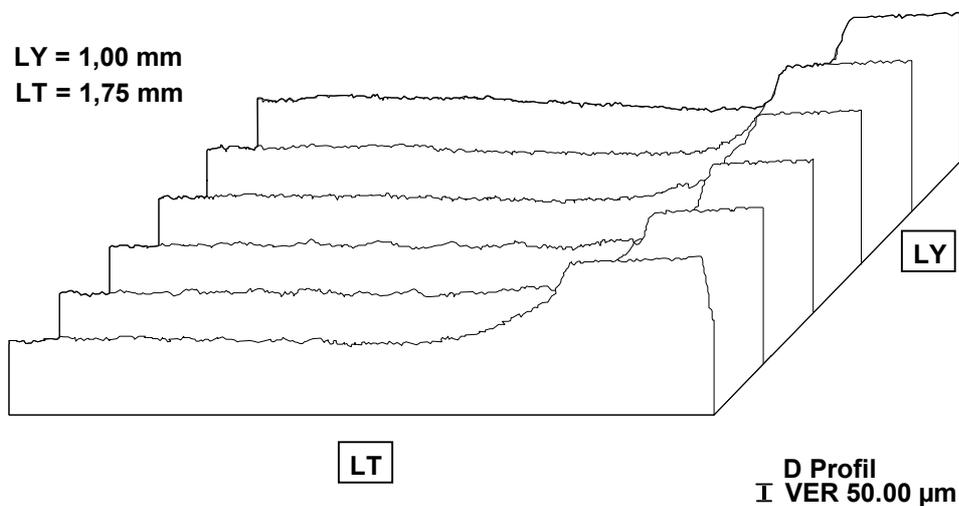


Abb.3: Dreidimensionale Darstellung der durch profilometrische Abtastung gemessenen D- Profile:

LY = Breite der abgetasteten Fläche (1,00 mm)

LT = Länge der abgetasteten Fläche (1,75 mm)

Bei allen Proben ergab die Messung eine deutliche Stufenbildung. Die Werte lagen in einem Bereich von 22,6 μm bis 80,4 μm . Eine Übersicht der ermittelten Werte findet sich in der folgenden Tabelle 1.

Tab. 1: Übersicht über die profilometrisch ermittelten Werte des Substanzverlustes für alle Gruppen.
(x = arithmetischer Mittelwert, s = Standardabweichung, MIN = Minimumwert, MAX = Maximumwert)

Substanzverlust (μm)				
Versuchsreihe 1				
fluoridfreie Zahnpaste, Bürsten direkt nach Erodieren N = 100 (25 pro Gruppe)				
	x	s	MIN	MAX
<i>Gewichtsbelastung</i>				
100 g	55,1	10,4	41,8	80,4
200 g	49,6	10,3	38,5	78,5
300 g	53,7	9,0	39,6	80,3
400 g	55,5	9,4	44,6	78,7
Versuchsreihe 2				
fluoridfreie Zahnpaste, Gewichtsbelastung 300 g N = 100 (25 pro Gruppe)				
	x	s	MIN	MAX
<i>zeitliche Lage des Bürstzeitpunktes zum Erodieren</i>				
nur erodiert	32,5	8,3	23,0	62,1
1 h danach	48,5	7,2	33,8	64,6
2 h danach	46,0	8,9	32,2	66,2
direkt vorher	41,8	11,1	26,2	73,7
Versuchsreihe 3				
Bürsten direkt nach Erodieren, Gewichtsbelastung 300 g N = 100 (25 pro Gruppe)				
	x	s	MIN	MAX
<i>Zahnpaste</i>				
Leitungswasser	49,7	13,4	24,9	66,6
Dr. Best	52,5	13,8	34,5	76,1
Colgate	44,8	10,2	30,5	78,9
Colgate + Elmex	40,5	13,7	22,6	70,3

4.1 Versuchsreihe 1

In dieser Versuchsreihe wurden die Proben mit unterschiedlichen Gewichtsbelastungen gebürstet (100 g bis 400 g), und zwar direkt nach dem Erodieren mit fluoridfreier Zahnpaste (Aronal). Als Vergleichsgruppe diente Gruppe 1 aus Versuchsreihe 2 (nur erodierte Proben). Die mittelwertigen Substanzverluste dieser Gruppen lagen im Bereich von 49,6 µm bis 55,5 µm. Bei der Kontrollgruppe (nur erodiert) betrug der Substanzverlust 32,5 µm.

Bei den unterschiedlichen Gewichtsbelastungen variierte der Substanzverlust nur geringfügig. Mit einem Schmelzverlust von 55,1 µm war der Substanzverlust bei 100 g Gewichtsbelastung größer als bei 200 g (49,6 µm Substanzverlust) und 300 g (53,7 µm Substanzverlust). Erst bei einem Anpressdruck von 400 g wurde mit 55,5 µm ein größerer Substanzverlust an Schmelz erzielt. Allerdings waren hierbei keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Statistisch hochsignifikante Unterschiede konnten zwischen allen Gruppen, in denen erodiert und gebürstet wurde, und der Kontrollgruppe, in der nur erodiert wurde, festgestellt werden (Tab.2, Abb.4).

Tab. 2: Vergleich der Substanzverluste (µm) nach Bürsten mit verschiedenen Gewichtsbelastungen

(x = mittlere Differenz, p = Irrtumswahrscheinlichkeit: ns = nicht signifikant,

* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$)

	100 g		200 g		300 g		400 g		erodiert	
	x	p	x	p	x	p	x	p	x	p
100 g			5,4	ns	1,4	ns	-0,5	ns	22,5	***
200 g	-5,4	ns			-4,0	ns	-5,9	ns	17,1	***
300 g	-1,4	ns	4,0	ns			-1,8	ns	21,2	***
400 g	0,5	ns	5,9	ns	1,8	ns			23,0	***
erodiert	-22,5	***	-17,1	***	-21,2	***	-23,0	***		

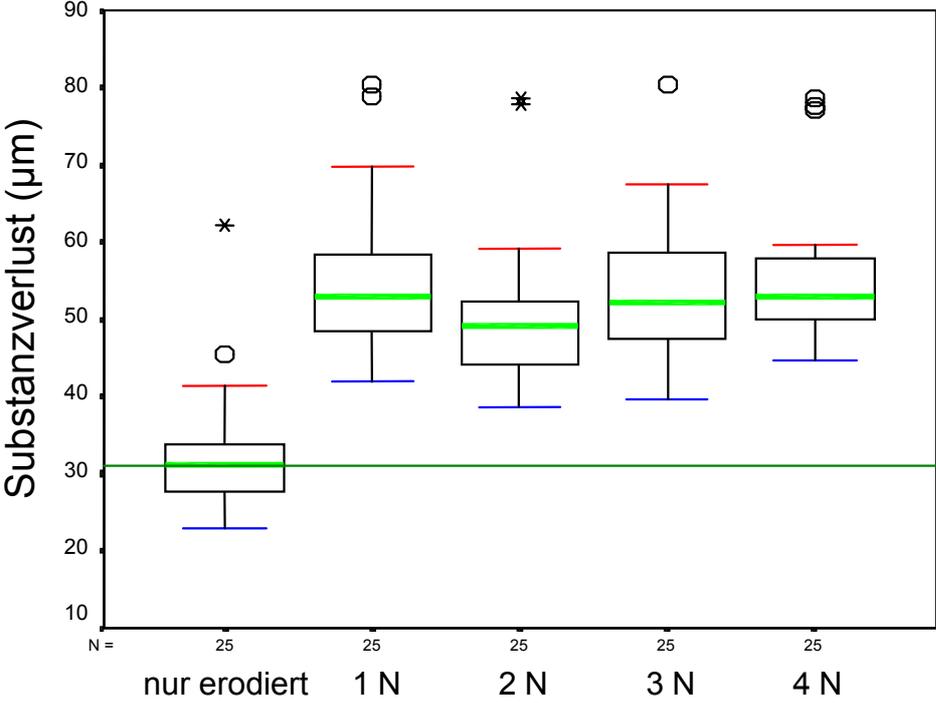


Abb. 4 Substanzverlust nach Bürstabrasion in Abhängigkeit vom Bürstdruck (N)

4.2 Versuchsreihe 2

In dieser Gruppe wurden die Proben zu unterschiedlichen Zeitpunkten vor oder nach dem Erodieren gebürstet. Gebürstet wurde mit 300 g Gewichtsbelastung und fluoridfreier Zahnpaste. Als Kontrollgruppe wurde Gruppe 3 aus Versuchsreihe 1 mit einbezogen, die ebenfalls mit 300 g Gewichtsbelastung und fluoridfreier Zahnpaste (Aronal), jedoch direkt nach dem Erodieren gebürstet worden war.

Das Zähnebürsten direkt nach dem Erodieren bewirkte den größten Substanzverlust, der mit zunehmender Remineralisationszeit deutlich abnahm, jedoch auch nach der längsten Wartezeit (Bürsten vor dem Erodieren) nicht vollständig verhindert werden konnte.

Bürsten direkt nach dem Erodieren ergab einen Substanzverlust von 53,7 μm . Nach 1 h Remineralisationszeit betrug der Substanzverlust 48,5 μm , nach 2 h 46,0 μm . Durch Bürsten direkt vor dem Erodieren wurde der geringste Substanzverlust erreicht (32,5 μm). Zwischen dem Bürsten vor und direkt nach dem Erodieren war der Unterschied signifikant. Ansonsten wurde wie auch in der 1. Versuchsreihe ein signifikanter Unterschied aller Gruppen zur Kontrollgruppe (nur erodiert) festgestellt (Tab.3, Abb.5).

Tab. 3: Vergleich der Substanzverluste (μm) nach Bürsten zu verschiedenen Zeitpunkten

(x = mittlere Differenz, p = Irrtumswahrscheinlichkeit: ns = nicht signifikant,

* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$)

	erodiert		vorher		nachher		1 h später		2 h später	
	x	p	x	p	x	p	x	p	x	P
erodiert			-9,3	*	-21,2	***	-15,9	***	-13,5	***
vorher	9,3	*			-11,8	***	-6,6	ns	-4,2	ns
nachher	21,2	***	11,8	***			5,2	ns	7,6	ns
1 h später	15,9	***	6,6	ns	-5,2	ns			2,4	ns
2 h später	13,5	***	4,2	ns	-7,6	ns	-2,4	ns		

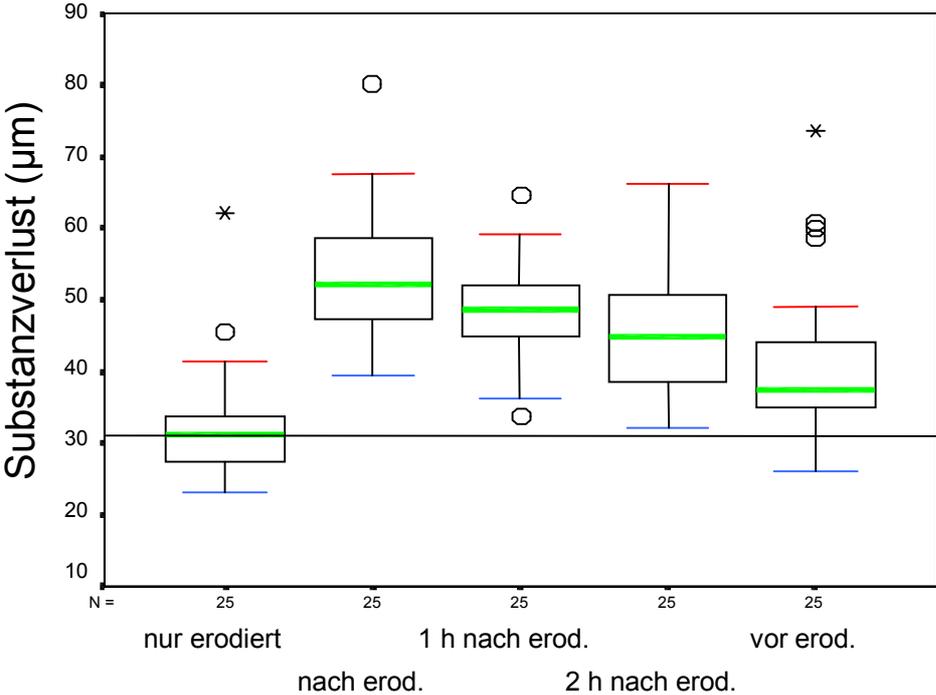


Abb. 5 Substanzverlust nach Bürstabrasion in Abhängigkeit vom Bürstzeitpunkt

4.3 Versuchsreihe 3

In dieser Gruppe wurden die Proben mit unterschiedlichen Zahnpastengebürstet. Alle Proben wurden direkt nach dem Erodieren mit 300 g Gewichtsbelastung gebürstet. In das Ergebnis wurde Gruppe 3 aus Versuchsreihe 1 (300 g Gewichtsbelastung, Aronal) mit einbezogen. Als Kontrollgruppe diente Gruppe 1 aus Versuchsreihe 2 (nur erodiert).

Da in dieser Versuchsreihe sowohl der Fluoridgehalt wie auch die Abrasivität der Zahnpasten variiert wurden, erfolgte die Auswertung in zwei Gruppen.

4.3.1 Variation des Fluoridgehaltes

Abb. 6 zeigt, dass der Substanzverlust bei steigendem Fluoridgehalt der Zahnpastenslösung stark abnimmt. Durch ein zusätzliches Einlegen in Elmex Gelée Lösung (hoher Fluoridgehalt) konnte der Verlust nochmals vermindert werden. Mit einem Substanzverlust von 40,5 µm unterscheidet sich die Colgate – Elmex – Gruppe nicht signifikant von der Vergleichsgruppe (nur erodiert) mit einem Substanzverlust von 32,5 µm und hat von allen Gruppen, die gebürstet wurden, den geringsten Substanzverlust. Der Fluoridgehalt der Zahnpaste scheint also den Verlust an Zahnhartsubstanz stark zu beeinflussen (Tab.4, Abb.6).

Tab. 4: Vergleich der Substanzverluste (µm) nach Bürsten mit verschiedenen Zahnpasten in Abhängigkeit des Fluoridgehaltes

(x = mittlere Differenz, p = Irrtumswahrscheinlichkeit: ns = nicht signifikant,

* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$)

	erodiert		F-frei Aronal		F-ZP Colgate		F-ZP+F-Gel Colg.+El.	
	x	p	x	p	x	p	x	p
erodiert			-21,2	***	-12,3	*	-8,0	ns
Aronal	21,2	***			8,9	ns	13,2	**
Colgate	12,3	*	-8,9	ns			4,3	ns
Colg.+El.	8,0	ns	-13,2	**	-4,3	ns		

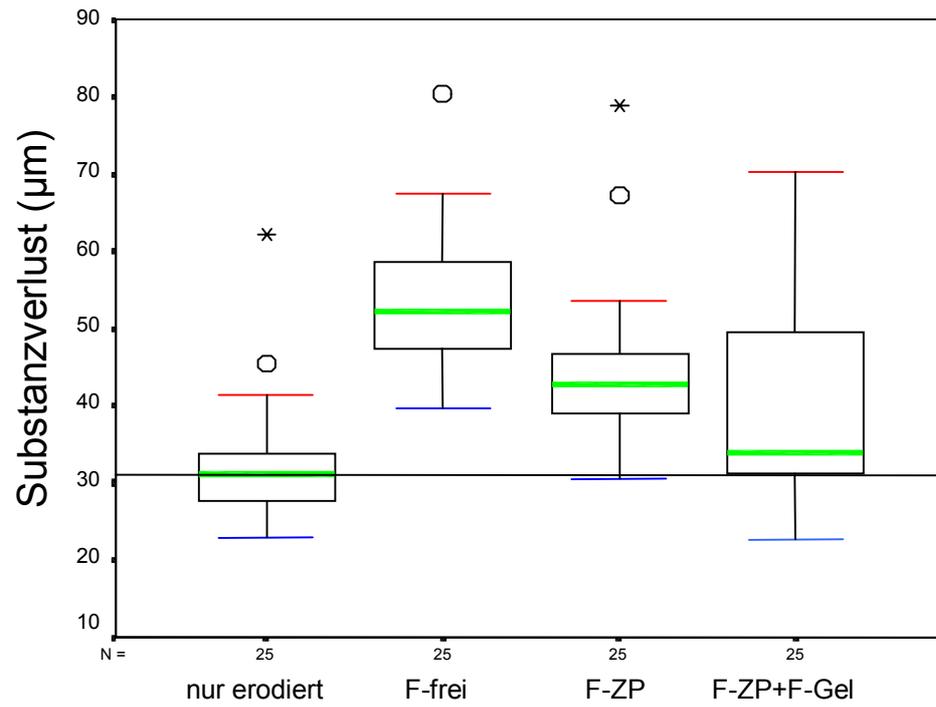


Abb. 6 Substanzverlust nach Bürstabrasion in Abhängigkeit von der applizierten Fluoridmenge

4.3.2 Variation der Abrasivität

Bei der Betrachtung der Substanzverluste an Schmelz in Abhängigkeit von der Abrasivität der Zahnpasten fällt auf, dass der Einfluss der Abrasivität nicht so stark ist wie der des Fluoridgehaltes. Dr. Best, die Zahnpaste mit dem höchsten RDA Wert, erzielte mit einem Substanzverlust von 52,5 μm einen vergleichbaren Wert wie Aronal (53,7 μm) und lag nur knapp über dem Verlust beim Bürsten mit Wasser (49,7 μm). Alle drei Gruppen liegen so dicht beieinander, dass die Unterschiede nicht signifikant sind. Im Vergleich zur nur erodierten Gruppe ist bei allen drei Zahnpasten ein signifikant größerer Substanzverlust festzustellen (Tab.5, Abb.7).

Tab. 5: Vergleich der Substanzverluste (μm) nach Bürsten mit verschiedenen Zahnpasten in Abhängigkeit der Abrasivität

(x = mittlere Differenz, p = Irrtumswahrscheinlichkeit: ns = nicht signifikant, * = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$)

	nur erodiert		ohne Paste Wasser		mittlere Abrasion Aronal		hohe Abrasion Dr. Best	
	x	p	x	p	x	p	x	p
erodiert			-17,2	***	-21,2	***	-20,0	***
Wasser	17,2	***			-4,0	ns	-2,8	ns
Aronal	21,2	***	4,0	ns			1,2	ns
Dr. Best	20,0	***	2,8	ns	-1,2	ns		

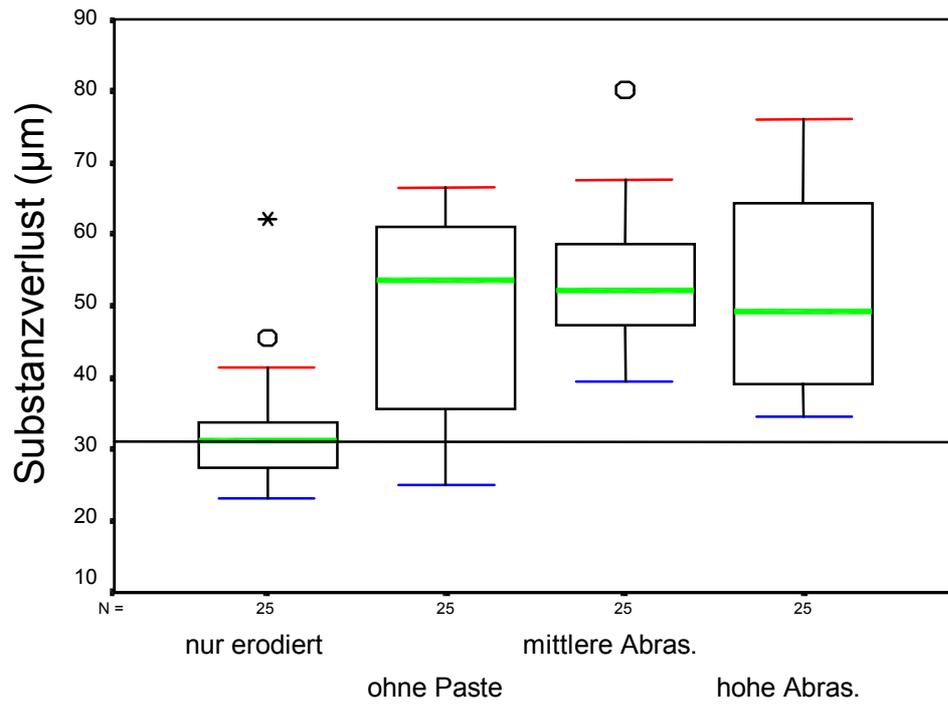


Abb. 7 Substanzverlust nach Bürstabrasion in Abhängigkeit von der Abrasivität der Zahnpaste

5. Diskussion

5.1 Versuchsaufbau und Durchführung

5.1.1 Probenmaterial

Die in dieser Studie verwendeten Schmelzproben wurden aus den Zahnkronen retinierter und verlagerter dritten Molaren gewonnen. So wurde nur Schmelz verwendet, der noch nicht den unterschiedlichen Einflüssen der Mundhöhle ausgesetzt war. Die verschiedenen Ernährungs- und Mundhygienegewohnheiten der Patienten konnten somit die posteruptive Schmelzreifung nicht beeinflussen. Nach dem Zahndurchbruch findet in Abhängigkeit vom Alter und von den Lebensumständen eine Einlagerung von Kalzium, Phosphat und Fluorid in die Apatitkristalle statt. Diese führt individuell zu einer unterschiedlichen Verringerung der Säurelöslichkeit. Bei einer *in vivo* Applikation von Zitronensäure können Schäden von kaum wahrnehmbaren Veränderungen bis hin zu massiven Ätzdefekten beobachtet werden (Noack, 1989).

Allerdings weisen vollständig retinierte Zähne zum Teil eine doppelt so große Säurelöslichkeit auf wie durchgebrochene Zähne (Brudevold, 1947). Diese Annahme unterstützen klinische Beobachtungen, die zeigen, dass der Schmelz neu durchgebrochener Zähne bei exzessivem Genuß von Zitronensäure besonders anfällig für Erosionen ist (Asher und Read, 1987).

Ein planes Versuchsfeld wurde durch Politur der Probenoberflächen geschaffen. Die oberflächliche prismenfreie Schmelzschicht wurde dabei entfernt. Diese ist im Vergleich zum prismatischen Schmelz wesentlich resistenter gegenüber Säureangriffen (Meurman und Frank, 1991 a,b; Schroeder, 1992; Ganss et al., 2000).

In diesem *in vitro* Versuch wurden deshalb vermutlich etwas größere Schmelzverluste gemessen als *in vivo* unter gleichen Versuchsbedingungen. Im natürlichen Gebiss wird allerdings auch durch Attrition, Abrasion und Erosion im Laufe der Zeit dieser prismenfreie Schmelz ausgedünnt, was zum Teil zu Schmelzdefekten mit Freilegung der Schmelzprismen führt (Noack, 1989). Nach Attin sind die so hergestellten Proben daher doch annähernd mit der klinischen Situation vergleichbar (Attin et al., 1996).

Obwohl die hier verwendete Methode geeignet erscheint, um Prophylaxeempfehlungen zu geben, können aus den gemessenen Substanzverlusten *in vitro* sicherlich keine exakten Rückschlüsse auf die *in vivo* auftretenden gezogen werden.

5.1.2. Erosions- und Abrasionserzeugung

Zum Erodieren der Schmelzproben wurde reine Zitronensäure in einer Konzentration verwendet, wie sie als reine diätetische Säure in den Nahrungsmitteln des täglichen Lebens enthalten ist. Neben der Apfelsäure kommt sie in Früchten und Getränken am häufigsten vor (Imfeld, 1983).

Zur Erzeugung von Erosionen wurden in der Literatur meist Früchte oder deren Säfte, Erfrischungsgetränke (Stephan, 1966; Liss, 1966; Aeschbacher, 1967; Reussner et al., 1975; Schweizer-Hirt et al., 1978; Asher und Read, 1987; Grenby, 1990; Grobler et al., 1990; Meurman et al., 1990; Hanning und Albers, 1993) oder die aus der Adhäsivtechnik (Schmelzkonditionierung) bekannte Orthophosphorsäure verwendet (Legler et al., 1990).

Weil diese Substanzen aus vielen Komponenten bestehen, die sowohl Wechselwirkungen mit dem Schmelz eingehen als auch auf die Säure selbst einwirken können, waren sie für diese Studie nicht geeignet. Sie würden sowohl die Reproduzierbarkeit als auch die Bewertung der Ergebnisse schwieriger gestalten. So wirken z.B. bei gleichem pH-Wert einige saure Milchprodukte gar nicht, bestimmte Sportgetränke dagegen sehr erosiv, da ihr erosives Potential neben dem pH-Wert auch von ihrem Kalzium-, Phosphat- oder Fluoridgehalt abhängig ist (Lussi et al., 1993).

Die Verweildauer der Schmelzproben in der Zitronensäure betrug 30 min täglich. In einer Untersuchung von Schweizer-Hirt et al. (1978) wurde festgestellt, dass schon nach 5 minütiger Einwirkzeit eines sauren Getränks eine ca. 3,4 µm dicke erweichte Schmelzschicht an der Zahnoberfläche entsteht. Doch in dieser Studie sollte ein Substanzabtrag in messbarer Höhe erzeugt werden, um die Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen sichtbar machen zu können. Stösser und Nekrashevych (1998) stellten fest, dass nach 20 minütigem Erodieren bei einer bovinen Schmelzprobe keine weitere Abnahme der Mikrohärtigkeit, sondern nur noch eine weitere Lösung von Phosphaten stattfand. Die Wahl einer 30 min langen Einwirkzeit der Zitronensäure auf die Schmelzoberfläche sollte eine maximal mögliche Demineralisierung sicherstellen.

Der Bürstdruck von 3 N wurde auf Grund einer Studie von Mierau, Haubitz und Völk (1989) festgesetzt. In dieser wurden von 45 weiblichen und männlichen Studenten verschiedener Fachrichtungen mit einem Durchschnittsalter von 24 Jahren Mundhygienemaßnahmen „wie zu Hause“, ohne zeitliche Begrenzung, durchgeführt. Zur Messung der vertikalen Bürstkraft erhielten die Probanden ohne jede Erklärung über Sinn und Zweck des Versuchs eine Zahnbürste, die mit einer EDV- Anlage verbunden war. Die Bürstkraft lag bei den meisten Probanden im Bereich von 3 N.

5.1.3. Messmethode

Die profilometrische Abtastung von Oberflächen ist eine weit verbreitete und etablierte Messmethode zur Bestimmung von Zahnhartsubstanzverlust. Sie wurde schon in vielen Studien eingesetzt und erwies sich als geeignete und zuverlässige Methode (Davis und Winter, 1980; Attin et al., 1997). Im Vergleich zu anderen Messmethoden (mikroradiographische Methoden, Messung der radioaktiven Schmelzabrasion (REA)) ist die Profilometrie mit einem geringen technischen und zeitlichen Aufwand durchzuführen und zudem die einzige Methode, mit der direkt eine Stufe zwischen dem nur polierten und dem erodierten, abradieren Bereich vermessen werden kann.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Variation des Bürstdrucks

In Versuchsreihe 1 waren die Proben mit unterschiedlichem Bürstdruck direkt nach dem Erodieren mit fluoridfreier Zahnpaste gebürstet worden. Der gemessene Unterschied an Substanzverlust war trotz Variation des Bürstdrucks (100 g bis 400 g Gewichtsbelastung) nicht signifikant. Nur zur Kontrollgruppe (nur erodiert) ergab sich eine Signifikanz in Bezug auf den Substanzverlust. Die Gewichtsbelastung im Bereich von 100 g bis 400 g scheint keinen wesentlichen Einfluss auf das Ausmaß des Substanzverlustes zu haben. Vermutlich wird die angelöste Schmelzschicht bei allen diesen Gewichtsbelastungen komplett abradieren, der intakte Schmelz darunter aber nicht beeinträchtigt.

Einen Zusammenhang zwischen der Abradierbarkeit von Zahnschmelz und der Mikrohärtigkeit dieser Substanz zeigt eine Studie von Attin et al. (1996).

Jeweils 15 polierte bovine Schmelzproben wurden für 1 min, 5 min oder 15 min in einem Erfrischungsgetränk (Spright light, pH 2,91) erodiert. Die Abnahme der Mikrohärtigkeit wurde durch Bestimmung der Vickers-Härte vor und nach Erosion dokumentiert. Anschließend wurden die Proben mit einer Last von 275 g mit 8000 Bürstenstreichen gebürstet und der Substanzverlust gemessen. Die statistische Auswertung zeigte, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen Mikrohärtigkeit und Substanzverlust des erodierten Schmelzes besteht. Bei Abnahme der Vickers-Härte steigt das Ausmaß des Substanzverlustes überproportional.

Eisenburger et al. (1999) zeigten ebenfalls, dass der erodierte Schmelz wesentlich an Widerstandskraft gegenüber physikalischen Einflüssen verliert. Es wurden 60 Schmelzproben aus retinierten und verlagerten Weisheitszähnen hergestellt. Jeweils 10 Proben wurden für 30 min, 1 h, 2 h, 3 h oder 4 h in 0,3 % Zitronensäure (pH 3,2) eingelegt, um anschließend für 5 s, 30 s, 120 s, 240 s und 480 s in ein Ultraschallbad eingebracht zu werden. Zu jedem dieser Zeitpunkte wurde eine profilometrische Messung vorgenommen. Die Proben der Kontrollgruppe wurden für 4 h in Wasser eingelegt und im Anschluss ebenfalls mit Ultraschall behandelt. Der allein erosiv bedingte Substanzverlust (30 min einlegen in Zitronensäure) betrug $3,3 \mu\text{m}$ und setzte sich linear fort. In der Kontrollgruppe wurde durch den Ultraschall kein Substanzverlust erzielt. Bei den 0,5 h bzw. 1 h erodierten Proben betrug der Substanzverlust an Schmelz ca. $1 \mu\text{m}$, bei den 2 h, 3 h und 4 h erodierten Proben $2 \mu\text{m}$ bis $4 \mu\text{m}$. Der Verlust wurde zum Großteil schon durch Einbringen in das Ultraschallbad für nur 5 s erzielt. Die erodierte Schmelzzone wurde also in sehr kurzer Zeit fast gänzlich entfernt. Der darunterliegende intakte Schmelz widerstand dem Ultraschall.

Der gefundene Wert von $2 \mu\text{m}$ bis $4 \mu\text{m}$ deckt sich sehr gut mit den in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Werten. In Gruppe 1 wurden Substanzverluste zwischen $50 \mu\text{m}$ und $55 \mu\text{m}$ gemessen. Wird hiervon der in der Kontrollgruppe (nur erodiert) ermittelte Wert von $33 \mu\text{m}$ subtrahiert, so ergibt sich ein durchschnittlicher Substanzverlust von $3,4 \mu\text{m}$ bis $4,4 \mu\text{m}$ pro Zyklus.

Offensichtlich entsteht durch Erodieren eine ca. $2 \mu\text{m}$ bis $4 \mu\text{m}$ breite Zone erweichten Schmelzes, die leicht mechanisch entfernbar ist. Schweizer-Hirt et al. kamen bereits 1978 zu einem ähnlichen Ergebnis. Es wurden Schmelzproben mit verschiedenen Zahnpasten gebürstet, eine Hälfte war zuvor 5 min in Orangensaft

ingelegt worden. Während die unbehandelten Proben kaum Abrasion aufwiesen, zeigten die erodierten einen Substanzverlust von 2 μm bis 4 μm .

Die in dieser Studie geringste verwendete Gewichtsbelastung von 100 g war also bereits ausreichend, diese erweichte Zone durch Bürsten zu entfernen. Daher verursachten Belastungen mit 200 g, 300 g oder 400 g keinen signifikant größeren Substanzverlust. Der Schmelz unter der erodierten Schicht widerstand der Abrasion durch Bürsten.

5.2.2 Variation des Bürstzeitpunktes

In Versuchsreihe 2 wurden die Proben bei 300 g Gewichtsbelastung mit fluoridfreier Zahnpaste gebürstet. Dabei wurde die Zeitspanne zwischen Erodieren und Bürsten variiert. Eine Vergrößerung der Zeitspanne brachte eine Abnahme des Substanzverlustes mit sich. Der geringste Substanzverlust wurde durch Bürsten direkt vor dem Erodieren erzeugt.

Durch Einlegen in Zitronensäure wird die oberflächliche Schmelzschicht angelöst. Werden die Zähne direkt nach dem Erodieren gebürstet, wird die erweichte Schmelzschicht abradiert. Das Einhalten von Wartezeiten ermöglicht eine Remineralisation der erweichten Schicht durch den Speichel. Dadurch hält der Schmelz der mechanischen Belastung des Zähnebürstens besser stand.

Zentner und Duschner (1996) untersuchten im konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop Schmelzproben, die sie mit 37 % Orthophosphorsäure für 60 s erodierten und anschließend von freiwilligen Probanden 3 Wochen lang tragen ließen, um sie so dem Mundmilieu auszusetzen. Eine Kontrollgruppe von Proben wurde nach dem Erodieren 3 Wochen feucht bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Bei allen Proben ergab sich ein Substanzverlust von 10 μm bis 20 μm . Weiterhin konnten unterhalb der erodierten Oberfläche Strukturveränderungen des Schmelzes bis in eine Tiefe von 60 μm bis 100 μm beobachtet werden. Bei den dem Mundmilieu ausgesetzten Proben hatte sich direkt unterhalb der erodierten Oberfläche eine 10 μm bis 15 μm breite hyperreflexible Zone gebildet. Hierbei handelte es sich eindeutig um strukturelle Veränderungen des Schmelzes und nicht um eine oberflächliche Materialablagerung. Dies spricht für eine Remineralisation durch den Speichel.

Attin et al. (1999) zeigten in einer Laborstudie, dass eine verlängerte Remineralisationszeit die Widerstandskraft gegen Abrasion stärkt. 4 Gruppen von jeweils 12

bovinen Schmelzproben wurden 1 min lang in Sprite light erodiert, unterschiedlich lang remineralisiert (jeweils eine Gruppe 0 min, 10 min, 60 min, 240 min lang) und anschließend bei 400 g Gewichtsbelastung 30 s gebürstet. Von 3 weiteren Gruppen gleicher Anzahl wurde eine nur gebürstet, eine nur erodiert und eine erodiert und 240 min lang remineralisiert. Dieser Zyklus wurde zehnmal wiederholt. Der geringsten Substanzverlust war bei den Schmelzproben zu beobachten, die nur gebürstet worden waren. Ansonsten wurde wie auch in der vorliegenden Studie festgestellt, dass der Substanzverlust durch Bürsten mit zunehmender Remineralisationszeit abnimmt. Der Substanzverlust der nach 240 min Remineralisationszeit gebürsteten Gruppe wies keinen signifikanten Unterschied mehr zum Substanzverlust der nur erodierten Proben auf.

Die Bedeutung des Bürstzeitpunktes spielt demnach bei der Prophylaxe von Erosionen eine große Rolle, was in der Literatur durch weitere Studien belegt ist (Mannerberg, 1963; Davis und Winter, 1980; Kelly und Smith, 1988). Ein sofortiges Bürsten nach Säureeinwirkung durch Nahrungsaufnahme wird mit dem Hinweis auf zusätzliche Abrasion von Zahnhartsubstanz abgelehnt (Davis und Winter, 1980; Scheutzel, 1996). Zwischen der säurehaltigen Nahrungsaufnahme und dem Zähneputzen sollte nach Meinung einiger Autoren eine Remineralisationszeit von mindestens einer Stunde liegen (Gedalia et al., 1991; Zimmer, 1998). Nach den vorliegenden Ergebnissen kann, wie auch die oben angeführte Studie von Attin et al. (1999) zeigt, der Substanzverlust an Schmelz durch noch längere Remineralisationszeiten weiterhin reduziert werden. Fraglich ist, in wieweit Wartezeiten von 240 Minuten zwischen Nahrungsaufnahme und Zahnreinigung im täglichen Leben praktikabel sind.

Auf Grund der oben genannten Laborstudien scheint der Zeitpunkt zur Zahnreinigung vor den Mahlzeiten aus erosions- und abrasionsprophylaktischen Aspekten der geeignetste zu sein. Aus zahnärztlicher Sicht wäre es also interessant zu untersuchen, ob in vivo bei der Zahnreinigung vor dem Essen eine ausreichende Karies- und Gingivitis/Parodontitisprophylaxe besteht. Gegen diesen Zeitpunkt spricht unter klinischen Bedingungen das Vorhandensein eines Pellikels aus Speichelproteinen. Dieses wird bereits vor der Nahrungsaufnahme auf der Zahnoberfläche gebildet und verhindert die Erosion der Zahnoberfläche durch Säuren (Meurman und Frank, 1991b). Eine Entfernung des Pellikels durch Bürsten vor der Nahrungsaufnahme

bewirkt so einen größeren Substanzverlust. Ein idealer Bürstzeitpunkt für die Zähne kann zur Zeit noch nicht angegeben werden.

5.2.3 Variation der Zahnpaste (Abrasivität und Fluoridgehalt)

In Versuchsreihe 3 wurde mit unterschiedlichen Zahnpasten bei einer Gewichtsbelastung von 300 g gebürstet. Alle Proben wurden direkt nach dem Erodieren gebürstet. Da in dieser Versuchsreihe sowohl der Fluoridgehalt wie auch die Abrasivität der Zahnpasten variierten, erfolgte die Auswertung in zwei Gruppen.

Variation der Abrasivität

Die Proben wurden mit Wasser und unterschiedlich abrasiven Zahnpasten (Aronal, Dr.Best) direkt nach dem Erodieren mit einer Gewichtsbelastung von 300 g gebürstet. Bei allen Gruppen zeigte sich ein signifikanter Unterschied nur zur Kontrollgruppe (nur erodiert), bei der der Substanzverlust deutlich geringer war. Unter den vorliegenden Bedingungen scheint die Abrasivität der Zahnpasten keinen wesentlichen Einfluss auf das Ausmaß des Substanzverlustes zu haben. Zahnpasten haben durch unterschiedliche Zusammensetzung unterschiedliche Abrasionswerte, wie Studien zeigen, in denen z.B. Zahnpasten auf ihren Reinigungseffekt bei verschiedenen RDA und REA Werten untersucht wurden (Barbakow et al., 1989; Wülknitz, 1997). Die unterschiedlichen Abrasivitäten der Zahnpasten hatten in der vorliegenden Untersuchung keinen Einfluss auf den Substanzverlust, da schon das Bürsten mit Wasser (geringe Abrasivität) die obere erodierte Schmelzschicht komplett entfernte. Wie auch in der Versuchsreihe mit den unterschiedlichen Gewichtsbelastungen verursachte eine stärkere Abrasivität (hier durch die Zahnpasten) keinen zusätzlichen Substanzverlust der tieferen unveränderten Schmelzschichten.

Variation des Fluoridgehaltes

In dieser Versuchsreihe ergab die Erhöhung des Fluoridanteils in den Zahnpasten eine deutliche Reduktion des Substanzverlustes. In der Gruppe, die zusätzlich zum Bürsten mit fluoridierter Zahnpaste in Elmex Gelée eingelegt worden war, wurde ein so geringer Substanzverlust gemessen, dass kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe (nur erodiert) festgestellt wurde. Die Applikation von Fluorid erhöht die Widerstandskraft der erodierten Schmelzschicht gegen Abrasion, da die Mikrohärtigkeit des Zahnschmelzes durch Fluoridzufuhr erhöht wird. Freie Fluoridionen bilden zusammen mit dem lokal vorhandenen Calcium eine CaF_2 -artigen Niederschlag auf und in den oberflächlichen Schmelzschichten und schützen somit die Schmelzkristallite (Rølla und Saxegaard, 1990).

Sorvari et al. untersuchten 1994 in einer Studie den Effekt von Fluoridlösung und -lack auf Schmelzerosionen. Die Schmelzproben aus humanen dritten Molaren wurden halbseitig 24 h mit Duraphat Lack (2,26 % F) oder 48 h mit Natriumfluoridlösung (1,2 % F) bedeckt. Anschließend wurden die Proben in Coca-Cola eingelegt und die Vickers-Härte nach 1 min, 4 min, 10 min und 15 min bestimmt. Die durchschnittliche Vickers-Härte des natürlichen Schmelzes betrug 298 ± 12 . Durch Behandlung mit Fluoridlösung/lack konnte sie auf Werte von 311 ± 18 / 309 ± 6 gesteigert werden. Während und nach dem Erodieren waren die Mikrohärtewerte der fluoridbehandelten Schmelzareale signifikant größer als die der Kontrollseite.

Bartlett und Lavstedt (1994) ließen Schmelzproben nach 5 minütigem Erodieren in 6 % Zitronensäure (pH 3,5) mit einer Zahnbürste (Oral B P 35) und einem Anpressdruck von 20 g bürsten. Dabei wurden 200 reziproke Bürstbewegungen durchgeführt. Dieser Vorgang wurde 720 mal wiederholt. Es zeigte sich, dass der Einsatz von fluoridhaltiger Zahnpaste (1236 ppm F^- als 0,94 % Natriummonofluorophosphat) eine entscheidende Reduktion des Substanzverlustes an Schmelz bewirkte. Beim Gebrauch fluoridhaltiger Zahnpaste betrug der durchschnittliche Substanzverlust $1,89 \pm 0,79 \text{ mm}^2$, wenn mit fluoridfreier Zahnpaste gebürstet wurde, hingegen $3,21 \pm 1,26 \text{ mm}^2$. Verwendet wurde fluoridhaltige Zahnpaste mit dem gleichen RDA Wert der fluoridfreien Zahncreme.

1998 führte eine Studie von Hall und Foye zu einem ähnlichen Ergebnis. In vitro wurde die Wirkung von fluoridierter Zahnpaste in Bezug auf Substanzverlust durch Bürsten nach Erodieren untersucht. Auch hier hatte die Verwendung fluoridhaltiger

Zahnpaste eine signifikante Reduzierung des Substanzverlustes im Vergleich zum alleinigen Erodieren bzw. dem Bürsten mit fluoridfreier Zahnpaste nach dem Erodieren zur Folge.

Die oben angeführten Studien und die vorliegenden Ergebnisse untermauern die Empfehlung vieler Autoren (Bartlett und Lavstedt, 1994; Hall und Foye, 1998), fluoridhaltige Zahnpaste zur Prophylaxe von Erosionen zu verwenden.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Untersuchung, dass durch Variation von Bürstzeitpunkt und benutzter Zahnpaste (fluoridiert, fluoridfrei) das Ausmaß des Substanzverlustes an Schmelz durch Erosion und Abrasion verringert werden kann. Der geringste Substanzverlust wurde beim Bürsten mit einer fluoridierten Zahnpaste (Colgate Gel) und zusätzlichem Einlegen der Probe in Elmex Gelée Lösung erzielt, d.h. durch stärkere Fluoridierung. Der Abrasionswert der Zahnpasten spielt eine eher untergeordnete Rolle. Ein ähnlich geringer Substanzverlust wurde beim Bürsten mit fluoridfreier Zahnpaste (Aronal) durch Verlängerung der Zeitspanne zwischen dem Erodieren und Bürsten auf 2 Stunden festgestellt. Eine Variation der Gewichtsbelastung zwischen 100 g und 400 g brachte keine signifikante Änderung des Substanzverlustes.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich Prophylaxeempfehlungen für Patienten ableiten. Es erscheint sinnvoll, dass das Zähneputzen nach einer Mahlzeit mit fluoridhaltiger Zahnpaste und zwar ein bis zwei Stunden später durchgeführt werden sollte. Weiterhin ist die zusätzliche Verwendung von Fluoridgel empfehlenswert. Ob eine Verlegung des Zähneputzens vor die Nahrungsaufnahme sinnvoll ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden in vitro Untersuchung war es, die Auswirkung verschiedener Parameter auf die Abrasion von erodiertem Zahnschmelz beim Zähnebürsten zu untersuchen. Variiert wurden der Anpressdruck beim Bürstvorgang, die Dauer der Remineralisationszeit zwischen Erodieren und Bürsten, die Abrasivität und der Fluoridgehalt der Zahnpaste.

Zu diesem Zweck wurden aus 75 durch Osteotomie entfernten retiniert und verlagerten menschlichen Weisheitszähnen 300 Schmelzproben gewonnen. Durch Schleifen wurde auf jeder Schmelzprobe ein ca. 2×4 mm großes planes Versuchsfeld erzeugt. Um einen Referenzpunkt für die profilometrische Auswertung nach Versuchsende zu haben, wurde die eine Hälfte der Versuchsfläche mit einem lichthärtenden Kunststoff abgedeckt. Nach randomisiertem Aufteilen der Schmelzproben auf die Versuchsgruppen durchliefen diese 5 Tage lang einen periodischen Versuchsablauf.

In der 1. Versuchsreihe wurden die Proben direkt nach dem Erodieren (0,05 molare Zitronensäure, 30 min) mit fluoridfreier Zahnpaste mit unterschiedlicher Gewichtsbelastung (100 g, 200 g, 300 g, 400 g) 3 min gebürstet.

In der 2. Versuchsreihe wurden die Proben mit fluoridfreier Zahnpaste und 300 g Gewichtsbelastung 3 Minuten gebürstet. Dies erfolgte in unterschiedlichen Zeitabständen zum Erodieren (vorher, direkt nachher, 1 h danach, 2 h danach).

In der 3. Versuchsreihe erfolgte das 3 minütige Bürsten direkt nach dem Erodieren mit einer Gewichtsbelastung von 300 g. Dabei wurden Zahnpasten mit unterschiedlichem Fluoridgehalt verwendet (fluoridfrei: Aronal, fluoridiert: Colgate Gel, stark fluoridiert: Colgate Gel und zusätzliches Einlegen in Elmex Gelée).

In der 4. Versuchsreihe wurde die Abrasivität der Zahnpaste variiert (ohne Paste: Leitungswasser, mittlere Abrasivität: Aronal, hohe Abrasivität: Dr. Best). Als Kontrollgruppe diente bei allen Versuchsreihen eine Gruppe, die nur erodiert wurde. Zwischen den Versuchen wurden die Proben in Remineralisationslösung eingelegt.

Die Auswertung ergab, dass eine Variation des Bürstanpressdrucks in den von uns gewählten Bereich keine signifikante Änderung der Bürstabrasionen bewirkte. Dagegen wurde der Substanzverlust durch Variation von Bürstzeitpunkt und benutzter Zahnpaste deutlich vermindert. Hierbei konnte der geringste Substanzverlust beim Bürsten mit einer fluoridierten Zahnpaste (Colgate Gel) und zusätzlichem Einlegen der Probe in Elmex Gelée Lösung erzielt werden, d.h. durch stärkere Fluoridierung. Der Abrasionswert der Zahnpasten schien eine eher untergeordnete Rolle zu spielen.

Ein annähernd gutes Ergebnis ließ sich beim Bürsten mit fluoridfreier Zahnpaste durch Verlängerung der Zeitspanne zwischen Erodieren und Bürsten auf 2 h erzielen. Noch geringer, wenn auch nicht signifikant, war die Abrasion beim Bürsten direkt vor dem Erodieren.

Deshalb erscheint es zur Prophylaxe von Bürstabrasionen ratsam, die Zahnreinigung nach einer Mahlzeit mit fluoridhaltiger Zahnpaste und zwar ein bis zwei Stunden später durchzuführen. Weiterhin ist die zusätzliche Verwendung von Fluoridgel empfehlenswert. Ob eine Verlegung des Zähneputzens vor die Nahrungsaufnahme sinnvoll ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

7. Literaturverzeichnis

1. **Aeschbacher, M.:**
Die Erweichung der Schmelzoberfläche durch Fruchtsäfte unter In-vitro-Bedingungen,
Schweiz Monatsschr Zahnmed 77, 58-62 (1967)
2. **Asher, C., Read, M.J.F.:**
Early enamel erosion in children associated with the excessive consumption of citric acid,
Br Dent J 162, 384-387 (1987)
3. **Attin, T., Hilgers, R.D., Hellwig, E.:**
Einfluß von Muzin im Speichel auf die Entstehung von Schmelzerosionen,
Dtsch Zahnärztl Z 51, 506-510 (1996)
4. **Attin, T., Koidl, U., Buchalla, W., Schaller, H.G., Kielbassa, A.M., Hellwig, E.:**
Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel,
Arch Oral Biol 42, 243-250 (1997)
5. **Attin, T., Deifuss, H., Hellwig, E.:**
Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel,
Caries Res 33, 135-139 (1999)
6. **Attin, T., Buchalla, W., Gollner, M., Hellwig, E.:**
Use of variable remineralisation periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel,
Caries Res 34, 48-52 (2000)
7. **Barbakow, F., Imfeld, T., Lutz, F., Stookey, G., Schemehorn, B.:**
Dentin abrasion (RDA), enamel abrasion (REA) and polishing scores of dentifrices sold in Switzerland,
Schweiz Monatsschr Zahnmed 99, 408-413 (1989)
8. **Bartlett, D.W., Smith, B.G., Wilson, R.F.:**
Comparison of the effect of fluoride and non-fluoride toothpaste on tooth wear in vitro and the influence of enamel fluoride concentration and hardness of enamel,
Br Dent J 176, 346-348 (1994)
9. **Bergstrom, J., Lavstedt, S.:**
An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion,
Community Dent Oral Epidemiol 7, 57-64 (1979)

10. **Bjorn, H., Lindhe, J.:**
Abrasion of dentine by toothbrush and dentifrice,
Odontologisk Revy 17, 17-27 (1966)
11. **Brickley, M., Shepherd, J.P.:**
Alcohol intoxication and dependence in adult dental out-
patients,
J Dent Res 68, 591 Abstract (1989)
12. **Brudevold, F.:**
Solubility of intact enamel,
J Dent Res 26, 440-441 (1947)
13. **Centerwall, B.S., Armstrong, C.W., Funkhouser, L.S.,
Elzay, R.P.:**
Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a
gas-chlorinated swimming pool,
Am J Epidemiol 123, 641-647 (1986)
15. **Christen, A.G.:**
Dentistry and the alcoholic patient,
Dent Clin North Am 27, 341-361 (1983)
16. **Davis, W.B., Winter, P.J.:**
Dietary erosion of adult dentine and enamel
protection with a fluoride toothpaste
Br Dent J 143, 116-119 (1977)
17. **Davis, W.B., Winter, P.J.:**
The effect of abrasion on enamel and dentine after exposure
to dietary acid,
Br Dent J 148, 253-256 (1980)
18. **De Boer, P., Duinkerke, A., Arends, J.:**
Influence of tooth paste particule size and tooth brush
stiffness on dentin abrasion in vitro,
Caries Res 19, 232-239 (1985)
19. **Dyer, D., Addy, M., Newcombe, R.G.:**
Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush
heads and standard toothpaste,
J Clin Periodontol 27, 99-103 (2000)
20. **Eccles, J.D., Jenkins, W.G.:**
Dental erosion and diet,
J Dent, 153-159 (1974)
21. **Einwag, J.:**
Karies und Gingivitis bei Vorschulkindern aus
unterschiedlichen sozialen Schichten,
Oralprophylaxe 13, 66-69 (1991)

22. **Eisenburger, M., Hughes, J., West, N.X., Jandt, K.D., Addy, M.:**
Ultrasonication as a method to study enamel demineralisation during acid erosion,
Caries Res 34, 289-294 (2000)
23. **Eriksson, J.-H., Angmar-Mansson, B.:**
Erosionsskador av C-Vitamintuggtablett,
Tandläkartidningen 78, 541-544 (1986)
24. **Fraleigh, C.M., Elhaney, J.H.MC., Heiser, R.A.:**
Toothbrushing force study,
J Dent Res 46, 209-214 (1967)
25. **Ganss, C., Schleichriemen, M., Klimek, J.:**
Dental erosions in subjects living on a raw food diet,
Caries Res 33, 74-80 (1999)
26. **Ganss, C., Schwarz, N., Klimek, J.:**
A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surface to erosive demineralisation,
Arch Oral Biol 45, 897-902 (2000)
27. **Ganss, C., Klimek, J., Giese, K.:**
Dental erosion in children and adolescents- a cross-sectional and longitudinal investigation using study models,
Community Dent Oral Epidemiol 29, 264-271 (2001)
28. **Gedalia, I., Dakuar, A., Shapira, L., Lewinstein, I., Goultschin, J., Rahamim, E.:**
Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva,
Am J Dent 4, 120-122 (1991)
29. **Gerrard, W.A., Winter, P.J.:**
Evaluation of toothpastes by their ability to assist rehardening of enamel in vitro,
Caries Res 20, 209-216 (1986)
30. **Graehn, G.:**
Säureerosion der Zahnhartsubstanz,
Dtsch Stomatol 41, 494-499 (1991)
31. **Grenby, T.H.:**
In-vitro-Experimente über die Auswirkungen von Erfrischungsgetränken auf die Zahnhartsubstanz,
Oralprophylaxe 12, 103-113 (1990)

32. **Grobler, S.R., Senekal P.J.C., Laubscher, J.A.:**
In vitro demineralization of enamel by orange juice, apple juice, Pepsi Cola and diet Pepsi Cola,
Clin Prev Dent 12, 5-9 (1990)
33. **Hall, A.F., Foye, R.H.:**
Effect of fluoridated and non-fluoridated dentrifice use on erosion of enamel and dentine in vitro,
Caries Res 32, 312 Abstract (1998)
34. **Hannig, M., Albers, H.-K.:**
Die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure an Zahnschmelz und Dentin in vitro,
Dtsch Zahnärztl Z 48, 298-302 (1993)
35. **Harrington, J.H., Terry, I.A.:**
Automatic and handbrushing abrasion studies,
J Am Dent Assoc 68, 343-350 (1964)
36. **Hefferren, J.J., Kingman, A., Stookey, G.K., Lehnhoff, R., Muller, T.:**
An international collaborative study of laboratory methods for assessing abrasivity to dentin,
J Dent Res 63, 176-179 (1984)
37. **Hellström, I.:**
Oral complications in anorexia nervosa,
Scand J Dent Res 85, 71-86 (1977)
38. **Hoffmann-Axthelm, W.:**
Lexikon der Zahnmedizin,
6. Aufl., Quintessenz-Verl.-GmbH, Berlin; Chicago; London; Sao Paulo, 4-5 (1995)
39. **Huber, B., Rueger, K., Hefti, A.:**
The effect of the duration of toothbrushing on plaque reduction,
Schweiz Monatsschr Zahnmed 95, 985-992 (1985)
40. **Imfeld, T.:**
Identification of low risk dietary components,
Karger, Basel, 165-174 (1983)
41. **Imfeld, T.:**
Dental erosion. Definition, classification and links,
Eur J Oral Sci 104, 151-155 (1996)
42. **Jaeggi, T., Schaffner, M., Bürgin, W., Lussi, A.:**
Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee,
Schweiz Monatsschr Zahnmed 109, 1170-1182 (1999)

43. **Jaeggi, T., Lussi, A.:**
Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: An in situ study,
Caries Res 33, 455-461 (1999)
44. **Jarvinen, V., Meurman, J.H., Hyvärinen, H., Rytömaa, I., Murtomaa, H.:**
Dental erosion and upper gastrointestinal disorders,
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 65, 298-303 (1988)
45. **Jarvinen, V.K., Rytömaa, I.I., Heinonen, O.P.:**
Risk factors in dental erosion,
J Dent Res 70, 942-947 (1991)
46. **Kelly, M.P., Smith, B.G.:**
The effect of remineralizing solutions on tooth wear in vitro,
J Dent 16, 147-149 (1988)
47. **Khocht, A., Simon, G., Person, P., Denepetya, J.L.:**
Gingival recession in relation to history of hard toothbrush use,
J Periodontol 64, 900-905 (1993)
48. **Klimek, J., Hellwig, E.:**
Clinical comparison of newly introduced toothbrush with two presently available toothbrushes,
Oralprophylaxe 11, 144-148 (1989)
49. **Legler, L.R., Retief, D.H., Bradley, E.L.:**
Effects of phosphoric acid concentration and etch duration on enamel depth of etch: An in vitro study,
Am J Orthod Dentofacial Orthop 98, 154-160 (1990)
50. **Levitch L.C., Bader, J.D., Shugars, D.A., Heymann, H.O.:**
Non-carious cervical lesions,
J Dent 22, 195-207 (1994)
51. **Linkosalo, E., Markkanen, H.:**
Dental erosions in relation to lactovegetarian diet,
Scand J Dent Res 93, 436-441 (1985)
52. **Liss, J.:**
Untersuchungen über das Verhalten der Schmelzoberfläche beim Genuß von sauren Früchten,
Dtsch Zahnärztl Z 21, 1134-1139 (1966)
53. **Lussi, A., Schaffner, M., Hotz, P., Suter, P.:**
Dental erosion in a population of Swiss adults,
Community Dent Oral Epidemiol 19, 286-290 (1991)

54. **Lussi, A., Schaffner, M., Hotz, P., Suter, P.:**
Erosion der Zahnhartsubstanz. Epidemiologie, klinisches Erscheinungsbild, Risikofaktoren und Verhaltensregeln, Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 320-329 (1992)
55. **Lussi, A., Jäggi, T., Schärer, S.:**
The influence of different factors on in vitro enamel erosion, Caries Res 27, 387-393 (1993)
56. **Lussi, A., Schaffner, M.:**
Incidence of dental erosion over a six-year period, Caries Res 30, 304 Abstract (1996)
57. **Manly, R.S., Brudevold, F.:**
Relative abrasiveness of natural and synthetic toothbrush bristles on cementum and dentine, J Am Dent Assoc 55, 779-780 (1957)
58. **Mannerberg, F.:**
Saliva factors in cases of erosion, Odontol Revy 14, 156-166 (1963)
59. **Mc Ley, L., Boyd, R.L., Sarker, S.:**
Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: laboratory determination of relative abrasion of three powered toothbrushes
J Clin Dent 8, 86-90 (1997)
60. **Meurman, J.H., Murtomaa, H.:**
Effect of effervescent vitamin C preparations on bovine teeth and on some clinical and salivary parameters in man, Scand J Dent Res 94, 491-499 (1986)
61. **Meurman, J.H., Rytömaa, I., Kari, K., Laakso, T., Murtomaa, H.:**
Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks, Caries Res 21, 353-359 (1987)
62. **Meurman, J.H., Härkönen, M., Näveri, H., Koskinen, J., Torkko, H., Rytömaa, I., Järvinen, V., Turunen, R.:**
Experimental sports drinks with minimal dental erosion effect, Scand J Dent Res 98, 120-128 (1990)
63. **Meurman, J.H., Frank, R.M.:**
Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel, Caries Res 25, 81-87 (1991a)

64. **Meurman, J.H., Frank, R.M.:**
Scanning electron microscopy study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion,
Caries Res 25, 1-6 (1991b)
65. **Meurman, J.H., Toskala, J., Nuutinen, P., Klemetti, E.:**
Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease,
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78, 583-589 (1994)
66. **Meurman, JH., Ten Cate JM.:**
Pathogenesis and modifying factors on dental erosion,
Eur J Oral Sci 104, 199-206 (1996)
67. **Micheelis, W., Reich, E.:**
Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III)
Deutscher Ärzteverlag, Köln (1999)
68. **Mierau, H.-D., Haubitz, I., Völk, W.:**
Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste
Dtsch Zahnärztl Z 44, 836-841 (1989)
69. **Newesely, H.:**
Bewertung der Abrasivität von Zahnpflegemitteln und ihrer Auswirkung auf die beteiligten Gewebe,
Dtsch Zahnärztl Z 40, 767-770 (1985)
70. **Newesely, H.:**
Zahncreme – Reinigungsmittel oder Wirkstoffträger,
Oralprophylaxe 9, 59-64 (1987)
71. **Noack, M.J.:**
REM-Untersuchung an Erosionen der Zahnhartsubstanz in vivo,
Dtsch Zahnärztl Z 44, 517-520 (1989)
72. **Padbury, A.D., Ash, M.M.Jr.:**
Abrasion caused by 3 methods of toothbrushing,
J Periodontol 45, 434-438 (1974)
73. **Phaneuf, E.A., Harrington, J.H., Ashland, A.B., Dale, P.P., Shaklar, G.:**
Automatic toothbrush: a new reciprocating action,
J Am Dent Assoc 65, 12-25 (1962)
74. **Phillips, R.W., Swartz, M.L.:**
Effects of diameter of nylon brushes on enamel surface,
J Am Dent Assoc 56, 20-26 (1953)

75. **Pindborg, J.J.:**
Pathology of the dental hard tissues.
Chapter 9: Chemical and physical injuries.
Munksgaard, Copenhagen, 312-325 (1970)
76. **Reussner, G.H., Coccodrilli, G., Thiessen, R.:**
Effects of phosphates in acid-containing beverages on tooth erosion.
J Dent Res 54, 365-370 (1975)
77. **Robb, N.D., Smith, B.G.N.:**
Prevalence of pathological tooth wear in patients with chronic alcoholism,
Br Dent J 169, 367-369 (1990)
78. **Robb, N.D., Smith, B.G.N., Geidrys-Leeper, E.:**
The distribution of erosion in the dentitions of patients with eating disorders,
Br Dent J 178, 171-175 (1995)
79. **Rølla, G., Saxegaard, E.:**
Critical evaluation and use of topical fluorides with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition,
J Dent Res 69, 780-785 (1990)
80. **Rytömaa, I., Meurman, J.H., Franssila, S.:**
Oral hygiene products may cause dental erosion,
Proc Finn Dent Soc 85 (3), 161-166 (1989)
81. **Saxton, C.A., Cowell, C.R.:**
Clinical investigation of the effects of dentifrices on dentine wear at the cemento-enamel junction,
J Am Dent Assoc 102, 38-43 (1981)
82. **Sarker, S., Mc Ley, L., Boyd, R.L.:**
Clinical and laboratory evaluation of powered electric toothbrushes: laboratory determination of relative interproximal cleaning efficiency of four powered toothbrushes,
J Clin Dent 8, 81-85 (1997)
83. **Schemehorn, B.R., Zwart, A.C.:**
The dentin abrasivity potential of a new electric toothbrush,
Am J Dent 9, 19-20 (1996)
84. **Scheutzel, P.:**
Zahnmedizinische Befunde bei psychogenen Essstörungen,
Dtsch Zahnärztl Z 47, 119-123 (1992)

85. **Scheutzel, P.:**
Etiology of dental erosion - intrinsic factors,
Eur J Oral Sci 104, 178-190 (1996)
86. **Scheutzel, P., Meurmann, R.:**
Anorexie und Bulimie aus zahnärztlicher Sicht,
Urban und Schwarzenberg,
München-Wien-Baltimore, 64-78 (1994)
87. **Schroeder, H. E.:**
Orale Strukturbiologie, 4. Aufl., Georg Thieme Verl.,
Stuttgart; New York, 73 (1992)
88. **Schweizer-Hirt, C.M., Schait, A., Schmid, R., Imfeldt, T., Lutz, F., Mühlemann, H.R.:**
Erosion und Abrasion des Schmelzes. Eine experimentelle Studie,
Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 88, 497-529 (1978)
89. **Shabat, E., Anaise, J., Westreich, V., Gedalia, I.:**
Erosion and fluoride content in molar surfaces of rats that drank cola beverages with and without fluoride,
J Dent Res 54, 426 Abstract (1975)
90. **Skinner, E.W., Takata, G.K.:**
Abrasions of the tooth surface by nylon and natural bristle toothbrushes,
J Dent Res 30, 522 Abstract (1951)
91. **Smith, B.G.N., Knight, J.K.:**
A comparison of patterns of tooth wear with aetiological factors,
Br Dent J 157, 16-19 (1984)
92. **Sognaes, R.F, Wolcott, R.B., Xhonga, F.A.:**
Dental erosion. I. Erosion-like patterns occurring in association with other dental conditions.
J Am Dent Assoc 84, 571-576 (1972)
93. **Sorvari, R.:**
Effects of various sport drink modifications on dental caries and erosion in rats with controlled eating and drinking pattern,
Proc Finn Dent Soc 85, 13-20 (1989)
94. **Sorvari, R., Meurman, J.H., Alakuijala, P., Frank, R.M.:**
Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro,
Caries Res 28, 227-232 (1994)

95. **Stephan, R.M.:**
Effects of different types of human foods on dental health in experimental animals,
J Dent Res 45, 1551-1561 (1966)
96. **Stösser, L., Nekrashevych, Y.:**
Erosion of dental enamel in vitro and rehardening by saliva in vivo,
Caries Res 32, 310 Abstract (1998)
97. **Wülknitz, P.:**
Cleaning power and abrasivity of european toothpastes,
Adv Dent Res 11, 576-579 (1997)
98. **Xhonga, F.A., Valdmanis, S.:**
Geographic comparisons of the incidence of dental erosion: a two centre study.
J Oral Rehabil 10, 269-277 (1983)
99. **Xhonga-Oja, F.A., Valdmanis, S.:**
Factor analysis of dental erosion occurrence.
J Oral Rehabil 13, 247-256 (1986)
100. **Zentner, A., Duschner, H.:**
Structural changes of acid etched enamel examined under confocal laser scanning microscope,
J Orofac Orthop 57, 202-209 (1996)
101. **Zimmer, S.:**
Softdrink-associated erosion-abrasion. The description of a treatment case,
Schweiz Monatsschr Zahnmed 108, 566-576 (1998)
102. **Zipkin, J., Mc Clure, FJ.:**
Salivary citrate and dental erosion,
J Dent Res 28, 613-626 (1949)

Lebenslauf :

Frank Westerfeld

Geburtsdatum : 12.07.1974
Geburtsort: Friedberg (Hessen)
Staatsangehörigkeit: deutsch
Eltern: Dr. med. dent. Michael Westerfeld,
Zahnarzt
Dr. med. dent. Hilke Westerfeld, geb. Godbersen,
Zahnärztin
Geschwister: Kathrin Westerfeld
Ute Westerfeld

Schulbildung: 1980-1984 Philipp-Dieffenbach-Schule in
Friedberg
1984-1993 Augustinerschule (altsprachliches
Gymnasium) in Friedberg
16.06.1993 Allgemeine Hochschulreife

Berufsausbildung: 1993-1998 Studium der Zahnheilkunde an der
Justus-Liebig-Universität in Gießen
15.08.1994 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
08.03.1996 Zahnärztliche Vorprüfung
16.12.1998 Studienabschluss Zahnmedizin und
Approbation als Zahnarzt

Berufstätigkeit 01.01.1999- Ausbildungsassistent in Friedberg,
31.05.1999 Praxis Dres. Westerfeld
15.06.1999 Beginn der oralchirurgischen Weiter-
bildung am Zentrum für ZMK der
Justus-Liebig-Universität in Gießen

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. J. Klimek und Frau Dr. C. Ganss für die Vergabe des Themas danken, besonders aber Frau Dr. Ganss für die gute Betreuung in jeder Phase dieser Arbeit, sowie für Anregungen und Diskussionen, die mir eine große Hilfe waren.

Dank sagen möchte ich ebenfalls Frau B. Meier für die Mithilfe bei der Durchführung der praktischen Versuche.

Weiterhin danke ich meiner Tante Frau I. Westerfeld, die mich bei der Korrektur schriftlichen Fassung der Arbeit unterstützte.

Herzlichst bedanke ich mich bei meinen Eltern und meinen Schwestern, welche mir das Studium und die Fertigstellung dieser Arbeit ermöglichten.