

**In vitro Untersuchung zum Einfluss von Fluorid und Milch auf
die erosive Demineralisation des menschlichen
Zahnschmelzes mit zwei unterschiedlichen Analysemethoden**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von Franz Josef Schuster
aus Ummendorf

Giessen 2002

**In vitro Untersuchung zum Einfluss von Fluorid und Milch auf
die erosive Demineralisation des menschlichen
Zahnschmelzes mit zwei unterschiedlichen Analysemethoden**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von Franz Josef Schuster
aus Ummendorf

Giessen 2002

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Abteilung Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde

Leiter: Prof. Dr. J. Klimek
des Universitäts-Klinikums Giessen

Gutachter: Prof. Dr. Klimek

Gutachter: PD. Dr. Steinmeyer

Tag der Disputation: 08.07.2003

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	EINLEITUNG	3
2	LITERATURÜBERSICHT	4
2.1	Erosionen	4
2.1.1	Definition	4
2.1.2	Ätiologie und Epidemiologie	5
2.1.3	Erscheinungsbild der Erosion	13
2.2	Therapie von Erosionen	14
2.2.1	Kausale Therapie	14
2.2.2	Symptomatische Therapie	15
3	MATERIAL UND METHODE	22
3.1	Herstellung der Proben	22
3.2	Versuchsgruppen	25
3.3	Erzeugung der Erosionen	27
3.4	Hemmung der erosiven Wirkung	27
3.5	Mikroradiographische Bestimmung des Mineralverlustes	28
3.5.1	Funktionsprinzip der LMR	28
3.5.2	Erstellung der Mikroradiogramme	29
3.5.3	Mikroradiographische Auswertung	31
3.6	Profilometrische Bestimmung des Mineralverlustes	31
3.7	Reproduzierbarkeit der Messungen	33
3.7.1	Reproduzierbarkeit der mikroradiographischen Messungen	33
3.7.2	Reproduzierbarkeit der profilometrischen Messungen	34
3.8	Überblick über den Versuchsaufbau	35
3.9	Statistische Auswertung	36
3.10	Materialien und Chemikalienliste	37

4	ERGEBNISSE	39
4.1	Allgemeines	39
4.2	Deskriptive Betrachtung der Ergebnisse	41
4.3	Vergleich der Mineralverluste zwischen den Versuchsgruppen	43
4.4	Vergleich der Mineralverluste innerhalb der Versuchsgruppen	43
4.5	Korrelation der beiden Messmethoden	46
4.6	Korrelation zwischen gemessener Probendicke und mikroradiographisch ermittelter Probendicke	47
5	DISKUSSION	48
5.1	Versuchsaufbau	48
5.1.1	Probenmaterial	48
5.1.2	Erosionserzeugung	49
5.1.3	Messmethoden	51
5.2	Diskussion der Ergebnisse	58
6	ZUSAMMENFASSUNG	65
7	LITERATURVERZEICHNIS	67
8	ANHANG	81
8.1	Danksagung	81
8.2	Lebenslauf	82

1 Einleitung

Schmelzerosionen werden als oberflächlicher, durch direkte Säureeinwirkung hervorgerufener Zahnhartsubstanzverlust definiert, der ohne Beteiligung von oralen Mikroorganismen entsteht [Pindborg, 1970].

Patienten mit säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten bedürfen in der Regel keiner invasiv / restaurativen Therapie, wenn kausale oder symptomatische Therapieformen gefunden werden. Dabei ist jedoch wenig darüber bekannt, welche Rolle Fluoridierungs- und Remineralisationsmaßnahmen spielen können. Daher war es ein Ziel der vorliegenden in vitro Studie, den Einfluss von verschiedenen Fluoridapplikationen und Milch auf die Entstehung von Erosionen in einem De- und Remineralisationszyklus über mehrere Tage hinweg zu untersuchen.

Zur Bestimmung des Mineralgehaltes von Zahnhartsubstanzen ist eine Reihe von verschiedenen Methoden entwickelt worden [Grenby, 1996]. Für das Versuchsprofil in der vorliegenden Studie war eine nicht destruktive Messmethode notwendig, die eine quantifizierende Bestimmung des Mineralgehaltes erlaubte. Darüber hinaus sollte eine Methode verwendet werden, die in Folgestudien auch in situ angewendet werden kann. Die aus der Kariologie bekannte longitudinale Mikroradiographie [Arends und ten Bosch, 1992] erfüllt diese Anforderungen und erschien somit als die Methode der Wahl. Da diese Methode bislang im Zusammenhang mit einem erosiv bedingten Zahnhartsubstanzverlust nur wenig angewendet worden ist, war ein weiteres Ziel der Untersuchung die Validierung und der Vergleich der longitudinalen Mikroradiographie mit der bereits etablierten Profilometrie [Attin et al., 1998; Rugg-Gunn et al., 1998; West et al., 1998; Ganss et al., 2000].

2 Literaturübersicht

2.1 Erosionen

2.1.1 Definition

Die chronisch-destruktiven Vorgänge an Zahnhartsubstanzen können verschiedene Ursachen haben. Bereits Miller [1907] unterschied zur Jahrhundertwende verschiedene Arten von Schmelzdestruktionen in einer der ersten Studien über Erosionen. Neben der mechanischen Abnutzung der Zähne durch Attrition, Abrasion und Demastikation muss die Erosion von der Karies als chemischer Auflösungsprozess der Zahnhartsubstanz abgegrenzt werden [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Imfeld, 1996b].

Die Karies ist als indirekter Säureangriff auf den Zahnschmelz definiert. Kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle produzieren dabei bei entsprechender Substratzufuhr organische Säuren. Wirken diese Säuren lange genug auf die Zahnhartsubstanzen ein, so entmineralisieren sie diese. Die Entstehung einer Kariesläsion hängt von der Art und Menge der Bakterien in der Plaque, ihren Metaboliten, ihrer Säureproduktionsrate und auch von dem pH-Wert ab.

Erosionen sind als oberflächlicher, durch chemische Prozesse hervorgerufener Zahnhartsubstanzverlust definiert, der ohne Beteiligung von oralen Mikroorganismen entsteht [Zipkin und McClure, 1949; Pindborg, 1970; Eccles, 1979; Hotz, 1987]. Die für die Erosion verantwortlichen Säuren gehören nicht zu den Produkten der intraoralen Flora, sondern sind entweder ernährungs-, berufsbedingt oder endogenen Ursprungs [ten Cate und Imfeld, 1996]. Schweizer-Hirt et al. [1978] definieren die Erosion als eine chronische, meistens schmerzlos verlaufende, flächenhafte zentripetale Defektbildung durch chemische Schmelz- und später auch Dentindemineralisation, die ohne Therapie zu ausgedehnten Zahnhartsubstanzverlusten führen kann.

2.1.2 Ätiologie und Epidemiologie

Generell lassen sich die ätiologischen Faktoren, die zur Entstehung einer Erosion des Zahnschmelzes beitragen, in endogene und exogene Ursachen einteilen [Järvinen et al., 1991; Imfeld, 1996b; Scheutzel, 1996; Zero, 1996]. Endogen bedingte Erosionen entstehen durch Säuren, die vom eigenen Organismus produziert werden, in diesem Fall durch den sauren Mageninhalt. Dagegen sind exogen bedingte Erosionen auf solche Säuren zurückzuführen, die mit der Nahrung oder mit Medikamenten an die Zähne herangeführt werden oder als Dämpfe auf die Zahnoberfläche treffen [Eccles, 1979]. Demnach können abhängig von den ätiologischen Faktoren [Scheutzel, 1996; Zero, 1996] Risikogruppen von Patienten definiert werden, bei denen die Prävalenz der Erosionen im Vergleich zur Normalbevölkerung deutlich höher ist.

Endogene Ursachen

Zunächst wären Patienten zu nennen, die an Essstörungen leiden. Das dabei bestehende chronische Erbrechen ist zumeist psychosomatischer Natur. Dazu gehören sowohl das stressbedingte Erbrechen als auch Anorexia und Bulimia nervosa [Brawdy, 1980; Eccles, 1982a und b; Robb et al., 1995; Scheutzel, 1996; Milosevic und Dawson, 1996]. Die Ursache für endogen bedingte Erosionen ist in dem pH-Wert der Magensäure zu suchen, der mit einem pH-Wert von 1-1,5 weit unter dem für die Entstehung von Erosionen kritischen Wert von 4-4,5 liegt. Die klinische Manifestation der Erosionen kommt darüber hinaus aber nur zustande, wenn die Magensäure auf die Zahnhartsubstanzen regelmäßig mehrere Male in der Woche über einen Zeitraum von mindestens ein bis zwei Jahren einwirkt [Hellström, 1977; Scheutzel, 1992]. Hellström [1977] fand bei 23 von 27 untersuchten Personen mit chronischem Erbrechen palatinale und linguale Erosionen. In einer weiteren Studie haben Roberts und Li [1987] gezeigt, dass 35% der Patienten mit Anorexia nervosa und 33% der Patienten mit Bulimia nervosa

palatinale Erosionen aufwiesen. Scheutzel [1996] untersuchte unter anderem auch Patienten, die Essstörungen hatten. Sie kam zu dem Ergebnis, dass annähernd 90% der Patienten mit Bulimie an Erosionen erkrankten. Darüber hinaus liegt die Prävalenz für psychosomatische Erkrankungen, die mit chronischem Erbrechen einhergehen, in den westlichen Industrieländern bei ungefähr 5%. Vor allem Frauen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren leiden darunter.

Auch Patienten mit Erkrankungen bzw. Störungen des Magen-Darm-Traktes haben ein erhöhtes Risiko für endogen bedingte Erosionen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Erkrankungen, die mit dem gastroösophagealen Reflux und der Regurgitation von Magensäure einhergehen [Järvinen et al., 1988; Taylor et al., 1992; Meurman et al., 1994; Scheutzel et al., 1996]. Bei den gastroösophagealen Refluxerkrankungen kommt es zu einem Rückfluss von Mageninhalt in die Speiseröhre. Die Magensäure gelangt dabei in die Mundhöhle und kann auf die Zahnhartsubstanz einwirken [Meurman et al., 1994]. Bei diesen Erkrankungen ist ein Zusammenhang mit säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten jedoch weniger deutlich. Bei einer Untersuchung an 109 Patienten mit gastrointestinalen Symptomen zeigten Järvinen et al. [1988], dass nur sieben der 109 Patienten erosive Veränderungen an ihren Zähnen aufwiesen, welche hauptsächlich an den palatinalen und inzisalen Flächen der oberen Zähne zu finden waren. Von den untersuchten Patienten waren 17 an Magengeschwüren erkrankt, bei 20 Patienten wurde ein ösophagealer Reflux behandelt, in weiteren 24 Fällen handelte es sich um Duodenalgeschwüre und bei 48 Patienten wurde eine Cholecystektomie vorgenommen. Das Alter der Patienten mit Erosionen lag zwischen 32 und 59 Jahren, dabei litten sie fünf bis 40 Jahre unter ihrer Erkrankung. Bei dieser Untersuchung wurde kein direkter Zusammenhang zwischen der Schwere der Erosionen und der Dauer des gastroösophagealen Reflux gefunden. In einer anderen Studie von Meurman et al. [1994] mit 107 Patienten mit Refluxkrankheit wiesen 28 Patienten Erosionen auf. Weiterhin

waren hier die Patienten mit Erosionen im Durchschnitt älter und die Refluxkrankheit war ausgeprägter als bei Patienten ohne Erosionen.

Auch der chronische Alkoholabusus wird als ätiologischer Faktor bei der Entstehung von Erosionen diskutiert [Smith und Robb, 1989]. Jedoch sind es mehr die Sekundärfolgen nach chronischem Alkoholmissbrauch, die letztendlich zu Erosionen führen. Und zwar kommt es in den meisten Fällen beim akuten Alkoholabusus zu einer Ösophagitis und Gastritis mit gastroösophagealem Reflux. Klinisch zeigen sich die Erosionen bei Alkoholkranken bevorzugt an den palatinalen Flächen der oberen Inzisivi. Im weiteren Verlauf treten an den palatinalen und okklusalen Flächen der Prämolaren und Molaren des Oberkiefers und an den Inzisalfächen der oberen Frontzähne Erosionen auf [Simmons und Thompson, 1987; Robb und Smith, 1990]. Nach den Untersuchungen von Christen [1983] sowie Brickley und Shepherd [1989] leiden 10% der Bevölkerung am Alkoholabusus. In zwei Studien wird über Zusammenhänge zwischen erosiven Veränderungen der Zahnhartsubstanz und pathologischem Alkoholkonsum berichtet. Smith und Knight [1984] kamen zu dem Ergebnis, dass von 18 untersuchten Patienten mit Erosionen neun an chronischem Alkoholismus litten. In einer zweiten Studie an 37 alkoholkranken Patienten wurde der Zusammenhang zwischen Alkoholkonsum und Erosionen bestätigt. 92% der untersuchten Personen wiesen dabei Erosionen auf [Robb und Smith, 1990].

Exogene Ursachen

Zu den exogenen Faktoren, die zu Erosionsbildung führen, zählen in erster Linie der häufige Genuss saurer Nahrung bzw. Getränke. Die in Nahrung und Erfrischungsgetränken enthaltenen Fruchtsäuren, insbesondere Zitronensäure, gelten als ätiologischer Hauptfaktor für die Entstehung erosiver Läsionen an der Zahnhartsubstanz [Schweitzer-Hirt et al., 1978; Davis und Winter, 1980; Rytömaa et al., 1988; Grobler et al., 1989; Grenby, 1990; Järvinen et al., 1991; Lussi et al., 1991]. So fanden Järvinen et al. [1991] in einer Untersuchung an finnischen Erwachsenen einen

Zusammenhang zwischen Patienten mit Zahnerosionen und dem häufigen Konsum von säurehaltigen Nahrungsmitteln. Dabei zeigen Patienten, die Zitrusfrüchte mehr als zweimal am Tag zu sich nahmen, täglich Softdrinks konsumierten oder Sportgetränke einmal wöchentlich oder mehr tranken, ein erhöhtes Erosionsrisiko. Besonders von Erosionen betroffen sind Personengruppen mit besonderen Ernährungsformen. Bei einer Untersuchung an 26 Laktovegetariern im Hinblick auf bukkale, linguale, palatinale und okklusale Erosionen fanden sich bei 77% der untersuchten Personen solche Defekte. Palatinale Erosionen waren dagegen selten und linguale Defekte wurden nicht beobachtet [Linkosalo und Markkanen, 1985]. In einer neueren Studie von Ganss et al. [1999] wurden 130 Patienten untersucht, die sich von Rohkost ernährten. Dabei nahmen die Patienten unter anderem im Durchschnitt 5,3 mal Zitrusfrüchte pro Tag auf. Die Autoren berichten über eine Prävalenzrate von sogar 97%.

Auch die regelmäßige Einnahme von sauren Medikamenten oder Vitaminpräparaten [Järvinen et al., 1991; Hannig und Albers, 1993] kann als ätiologischer Faktor bei Erosionen angesehen werden. Hannig und Albers [1993] konnten in einer in vitro Studie die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure nachweisen. Auf den Zahnproben konnten rasterelektronenmikroskopisch erosive Veränderungen festgestellt werden, deren Ausmaß von der Einwirkzeit und Konzentration der Säure abhängig war. Dem zunehmenden Gebrauch von Vitamin-C-Präparaten (Ascorbinsäure) als Grund für dentale Erosionen muss auch Beachtung geschenkt werden [Meurman und Murtomaa, 1986]. Die Autoren untersuchten in vitro den pH-Wert und das erosive Potenzial von verschiedenen Vitaminpräparaten. Alle getesteten Präparate wiesen einen pH-Wert unterhalb von 5,5 auf und verursachten nach 100 Stunden Versuchsdauer dentale Erosionen. Neben der Acetylsalicylsäure und der Ascorbinsäure kommen außerdem noch Medikamente wie Azida [Maron, 1996] oder Eisenpräparate [Hickel, 1989] in Betracht, die ebenfalls potentiell erosiv wirken können.

Auch die berufliche Exposition durch industriell bedingte Säuredämpfe [Zero, 1996] kann zu Erosionen führen. Bestimmte Berufsgruppen, die kontinuierlich bei ihrer Arbeit Säuredämpfen ausgesetzt sind oder mit Säuren arbeiten, zeigen ein erhöhtes Risiko für Zahnerosionen [Zero, 1996]. Beim Einatmen gelangen Säuredämpfe (z.B. Schwefel-, Salpeter- oder Salzsäure) an die Labialflächen der Frontzähne und führen dort zu erosiven Veränderungen [Boyes et al., 1959; Schweitzer-Hirt et al., 1978; Imfeld, 1996b]. Zu den Berufsgruppen mit erhöhtem Erosionsrisiko gehören Arbeiter in Batterie-, Dynamit- und Munitionsfabriken [Miller 1907; ten Bruggen Cate, 1968], Angestellte in Druckereien [Smith und Knight, 1984], Laborarbeiter, die Säure mit dem Mund pipettieren [Levine, 1973] wie auch professionelle Weintester [McIntyre, 1992; Chaudhry et al., 1997].

Dabei wird die Entstehung und das Ausmaß der Erosion maßgeblich von dem pH-Wert der Säure beeinflusst. Die meisten Nahrungsmittel mit einem pH-Wert zwischen 4 und 4,5 haben das Potenzial, dentale Erosionen zu verursachen [Zero, 1996]. In einigen Studien konnte der Einfluss zwischen dem pH-Wert der Säure und der Entstehung von Erosionen gezeigt werden. Rytömaa et al. [1989] untersuchten in diesem Zusammenhang in einer *in vitro* Studie die Tiefe der entstandenen Schmelzerosionen nach vierstündiger Einwirkung saurer Getränke. Sie fanden heraus, dass die Getränke mit einem pH-Wert oberhalb von 4 keine Erosion erzeugten, wohingegen die Getränke mit einem pH-Wert unterhalb von 4 deutliche Erosionen verursachten. Dabei hatten Cola-Getränke, Orangensaft und Sportgetränke die höchste erosive Wirkung, dagegen erzeugte kohlensäurehaltiges Mineralwasser unter den experimentellen Bedingungen nur geringe bis keine Erosionen. Meurman et al. [1990a] untersuchten an bovinen Zähnen die Auflösung von Hydroxylapatit durch 13 Sportgetränke, die entweder Zitronen- oder Apfelsäure enthielten. Zwei experimentelle Sportgetränke mit einem höheren pH-Wert als kommerziell verfügbare Produkte wurden dabei ebenfalls getestet. Sie verursachten eine geringere Demineralisierung als die kommerziellen Produkte. Das Ausmaß der Schmelzerosionen wurde

profilometrisch und durch Mikrohärtemessungen beurteilt. Die Getränke mit Apfelsäure (pH-Wert 5,5) erzeugten dabei etwas weniger Erosionen als die Getränke, die Zitronensäure (pH-Wert unter 4,2) enthielten. Die Schlussfolgerung der Autoren war, dass die Demineralisation umso größer war, je niedriger der pH-Wert des Getränks war. In einer nachfolgenden Studie kamen Meurman und Frank [1991a] zu dem gleichen Ergebnis. Die erosive Wirkung der verschiedenen Getränke war abhängig von ihren pH-Werten. In der Studie waren nach 15-30 minütiger Behandlung die Sportgetränke mit Apfelsäure (pH-Wert 3,4) weniger erosiv als zitronensäurehaltige Sportgetränke (pH-Wert 2,8) oder Cola-Getränke mit Phosphorsäure (pH-Wert 2,6).

Neben dem pH-Wert der Säure hängt das erosive Potenzial aber auch vom Gehalt an titrierbarer Säure und von der Art, der Häufigkeit und der Dauer der Säureaufnahme ab. Auch die Inhaltsstoffe in der Nahrung, wie Kalzium, Phosphat oder Fluorid, beeinflussen die Erosionsentstehung. So konnte Grenby [1990] zeigen, dass nicht nur der pH-Wert einer sauren Lösung sondern auch der Gehalt an titrierbarer Säure von großer Bedeutung für den Grad der erosiven Demineralisation ist. Cola-Getränke besitzen einen sehr niedrigen pH-Wert (ca. 2,6 bei 0,05% Phosphorsäure), jedoch ist nur wenig titrierbare Säure enthalten. In einer anderen Untersuchung von Lussi et al. [1993] konnte gezeigt werden, dass die Erosivität von verschiedenen Getränken, Säften und Nahrungsmitteln signifikant von dem pH-Wert und der Pufferkapazität abhängig ist, weiterhin aber auch vom Gehalt an Kalzium, Fluorid und Phosphat. Grobler et al. [1989] haben den Grad der Schmelzerosion untersucht, der von fünf verschiedenen Früchten verursacht wurde. Dabei wurde jeweils die aus der Schmelzoberfläche gelöste Menge an Kalzium bestimmt. Die höchste initiale Erosionsrate (während der ersten zehn Minuten) wurde für die Aprikose gefunden, die auch den höchsten Gehalt an titrierbarer Säure besaß. Es folgten Grapefruit und Guave mit einer mittleren Erosionsrate, gefolgt von Apfel und schließlich Orange mit der geringsten Erosionsrate. Nach dieser initialen Phase sank die Erosionsrate

für alle Früchte, aber am wenigsten für Grapefruit. Nach einer Dauer von 40 Minuten stellte sich der Grad der Ätztiefe in folgender Reihenfolge dar: Grapefruit, Aprikose, Guave, Apfel und schließlich Orange. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, dass der Grad der Schmelzerosion von verschiedenen Faktoren abhängt; dazu zählen pH-Wert, Menge und Verhältnis der verschiedenen Säuren sowie die Art der Säure und andere chemische Komponenten, die in den Früchten enthalten sind. Eine weitere Studie von Grobler et al. [1990] mit ähnlichem Versuchsaufbau zeigte, dass Orangensaft und Cola-Getränke während der ersten zehn Minuten die größte Demineralisation erzeugten, gefolgt von Apfelsaft. Die Diät-Cola verursachte die geringste Erosion von allen getesteten Produkten. Dies wurde auf die Kalziumkonzentration von Diät-Cola zurückgeführt, die mehr als doppelt so hoch war wie bei allen anderen Getränken.

Imfeld [1983] untersuchte den pH-Wert verschiedener saurer Getränke in vivo. Nach Einnahme der erosiven Getränke kam es bei allen Probanden zu einem Sinken des pH-Wertes im Speichel. Grapefruitsaft, der den höchsten Grad titrierbarer Säure hatte, war das einzige Testgetränk, das den pH-Wert sogar auf nahezu 4 für längere Zeit sinken ließ. Alle anderen getesteten Getränke verursachten einen initial niedrigen pH-Wert, der sich aber schnell wieder neutralisierte. Demnach können Ergebnisse aus in vitro Studien nicht unmittelbar in vivo umgesetzt werden bzw. sind in vivo sehr viel schwächere Säureangriffe zu erwarten.

Dennoch konnten im Tierversuch erosive Defekte nach Einwirkung von sauren Getränken nachgewiesen werden. Dabei konnten in Rattenversuchen ebenfalls Unterschiede in der erosiven Wirkung verschiedener Fruchtsäfte gezeigt werden [Wynn und Hald, 1948]. Mit sinkendem pH-Wert der Getränke erhöhte sich die erosive Wirkung. Grapefruitsaft hatte hierbei die höchste erosive Wirkung, gefolgt von Weintraube, Apfel, Ananas, Orange, Backpflaume und Tomatensaft. In einer Studie von Miller [1951] wird über die erosiven Auswirkungen von verschiedenen Früchten und Fruchtsäften berichtet. Im Tierexperiment konnte er feststellen, dass Fruchtsäfte eine drei-

bis siebzehnmals größere erosive Wirkung aufweisen, als die entsprechenden Früchte, aus denen sie hergestellt werden.

Die Angaben zur Prävalenz von Erosionen in der Normalbevölkerung schwanken. Allerdings sind sowohl die diagnostischen Kriterien als auch die verwendeten Indizes sehr unterschiedlich, so dass der Vergleich der Daten schwierig ist. Dennoch soll im Folgenden ein kurzer Überblick über die Häufigkeit von säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten gegeben werden. In den USA wurde eine der ersten Untersuchungen zur Prävalenz an 1345 männlichen Studenten durchgeführt. Die Studie ergab eine Erosionsprävalenz von 2,1%, wobei die Zähne des Oberkiefers häufiger betroffen waren und der Schweregrad der Erosion mit dem Alter zunahm [Zipkin und McClure, 1949]. Sognaes et al. [1972] fanden an 10.000 extrahierten Zähnen erosive Läsionen in 18% der Fälle. Der Befall der verschiedenen Zahntypen war wie folgt: Inzisivi 26%, Canini 17%, Prämolaren 22% und Molaren 3%. Bei einer Untersuchung von Xhonga und Sognaes [1973] konnten bei 30 Probanden mit einem Altersmedian von 33 Jahren 40% Erosionen festgestellt werden, wobei im Durchschnitt 3,1 Zähne pro Person betroffen waren. Am häufigsten waren die Prämolaren und Canini befallen. Brady und Woody [1977] fanden in ihrer Studie, dass 5,3% von 900 untersuchten Zahnärzten zervikale Erosionen auf der Bukkalfläche ihrer Zähne aufwiesen. Jedoch handelte es sich bei diesen Läsionen wahrscheinlich nicht nur um Erosionen, sondern zum Teil auch um keilförmige Defekte. In klinischen Untersuchungen der USA wurde eine Erosionsprävalenz von 25% einer Stichprobe von 527 Patienten festgestellt [Xhonga und Valdmanis, 1983]. Epidemiologische Studien in der Schweiz zeigten, dass 7% der untersuchten Erwachsenen eine erosive Schmelzveränderung an mindestens einem Zahn aufwiesen. Dabei wurden 391 zufällig ausgewählte Erwachsene im Alter zwischen 26 und 50 Jahren untersucht. Die Okklusalfächen waren hier am häufigsten erodiert; 29,9% der jüngeren und 42,6% der älteren Probanden hatten bereits Erosionen mit

Dentinbeteiligung. Weiterhin wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen den beobachteten Erosionen und bestimmten Nahrungsgewohnheiten, wie die häufige Aufnahme von Fruchtsäften, festgestellt [Lussi et al., 1991]. Bei einer Studie mit 1035 Jugendlichen im Alter von 14 Jahren zeigten sich bei 80 (8%) Jugendlichen Substanzverluste. Sie waren vorwiegend an den Okklusal- und Lingualflächen der Zähne lokalisiert, teilweise mit Freilegung des Dentins [Milosevic und Dawson, 1996].

2.1.3 Erscheinungsbild der Erosion

Die erosiven Zahnhartsubstanzveränderungen unterscheidet man klinisch in Früh- und Spätläsionen. Die Frühläsion ist eine klinisch kaum diagnostizierbare Läsion, die ausschließlich im Schmelz begrenzt liegt. Der Schmelz wird in dieser Anfangsphase flächenhaft demineralisiert, ohne feststellbare Erweichung. Dabei ist der Substanzverlust für den Patienten schmerzlos und nicht sichtbar. Der Zahnschmelz erscheint makroskopisch glatt und matt glänzend, da die typische Schmelzstruktur bereits verändert ist. Beim Jugendlichen fehlen in diesem Bereich die Perikymatien. Schreitet die Erosion fort, kommt es zu einer deutlichen Abflachung konvexer Zahnflächen bzw. zu einer Vertiefung konkaver Flächen, schließlich kann das Dentin im Sinne einer Spätläsion flächenhaft exponiert sein [Schweitzer-Hirt et al., 1978]. Diese fortgeschrittene Erosion ist durch einen deutlich sichtbaren Defekt, häufig auch durch Zahnverfärbung und durch Schmerzen sowohl bei Temperaturänderungen wie auch auf Berührung gekennzeichnet [Hotz, 1987].

Meurman und Frank [1991a] haben ultrastrukturelle in vitro Untersuchungen über das Fortschreiten von Erosionen im prismatischen und aprismatischen Schmelz durchgeführt. Die dazu benötigten Schmelzproben wurden sowohl aus menschlichen 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 gelöst werden. Aprismatischer Schmelz hingegen erodiert in einer sehr unregelmäßigen Art und Weise [Meurman und ten Cate, 1996].

Noack [1989] konnte rasterelektronenmikroskopisch auch in vivo nach der Einwirkung von Zitronensaft ähnliche Veränderungen nachweisen. Die Morphologie der Schmelzoberfläche sowie die Reaktion auf Zitronensaft variierte jedoch bei den untersuchten Zähnen stark. Die Reaktion auf Zitronensäure schwankte dabei zwischen kaum wahrnehmbaren Veränderungen und massiven Ätzschäden im Schmelz. Deutlich waren selektiv gelöste Prismenenden zu erkennen mit allgemeiner Zunahme der Rauhtiefe. Dem gegenüber stellt sich der Schmelz am Rande von Erosionen häufig als wabenartige Oberflächenstruktur dar.

2.2 Therapie von Erosionen

2.2.1 Kausale Therapie

Ohne Rücksicht auf die Ätiologie der Erosion steht zunächst die kausale Therapie im Vordergrund. Dazu gehört zunächst die Identifikation der sauren Noxe und schließlich die Verringerung oder Vermeidung der Säureeinwirkung.

Wenn es sich um ernährungsbedingte Erosionen handelt, sollte der Verzehr von saurer Nahrung, wie z.B. Obst, eingeschränkt und auf die Hauptmahlzeiten beschränkt werden. Saure Getränke sollten entweder schnell getrunken oder durch einen Strohhalm konsumiert werden [Smith und

Shaw, 1993]. Da das erosive Potenzial von Getränken durch den Zusatz von Kalzium verringert werden kann, sollten auf entsprechende Getränke (beispielsweise Orangensaft mit Kalzium) zurückgegriffen werden. Ebenso konnte gezeigt werden, dass das Süßungsmittel Xylitol möglicherweise die erosive Wirkung bei sauren Getränken reduziert [Amaechi et al., 1998b]. Schließlich kann die Wiedererhärtung von erosiv erweichtem Zahnschmelz durch den abschließenden Konsum von Käse [Gedalia et al., 1992] und Milch [Gedalia et al., 1991] möglicherweise positiv beeinflusst werden. Vitaminpräparate sollten nicht als Brausetabletten sondern in Kapselform eingenommen werden, um sie im Ganzen schlucken zu können [Imfeld, 1996a].

In vielen Fällen kann jedoch die saure Noxe nicht identifiziert, oder beispielsweise bei Patienten mit Essstörungen, nicht vermieden werden. Ebenso sind die oben beschriebenen Empfehlungen nicht für alle Betroffenen, so zum Beispiel für Vegetarier oder Rohköstler, umsetzbar, so dass auch symptomatische Therapieformen entwickelt werden müssen.

2.2.2 Symptomatische Therapie

Vermeidung von Bürstabrasionen

Als weiterer wichtiger Gesichtspunkt muss die Abrasion von erodiertem Schmelz durch das Zähneputzen beleuchtet werden. Säurebedingte Schmelzerweichungen führen zu einer verringerten Resistenz der Zahnoberfläche gegenüber Bürstabrasionen [Attin et al., 1997b]. Eine weitere Studie von Attin et al. [1997a] zeigt, dass der Härteverlust bei einer Erosion durch eine Fluoridapplikation mit einer Dosierung, wie sie beim Zähneputzen auftritt, reduziert wird. Der dabei entstehende Schutz durch Fluorid wird aber entscheidend von einer ausreichend langen Remineralisation durch Speichel bestimmt. Das Zähneputzen sollte daher nicht unmittelbar nach einem Säureangriff im Mund erfolgen [Bevenius et al., 1988]. Schon 1980 zeigten

Davis und Winter [1980], dass unmittelbares Zähneputzen nach dem Genuss von sauren Nahrungsmitteln zu einem deutlichen Zahnhartsubstanzverlust führen kann. In ihrer in vitro Studie untersuchten sie mit der Profilometrie den Mineralverlust von Zahnproben, die nach Einlegen in einem erosiven Grapefruit-Speichelgemisch entweder mit oder ohne Zahnpasta gebürstet wurden. Dabei resultierte vor der erosiven Attacke keine messbare Abrasion des Schmelzes, wenn die Proben mit destilliertem Wasser 10.000 mal gebürstet wurden. Bei Bürsten mit Zahnpasta gingen nach 5.000 Bürstbewegungen 0,136 μm Schmelz verloren. Nach der erosiven Attacke abradierete nach ebenfalls 5.000 Bürstbewegungen der Schmelz mit bis zu 0,19 μm . In einer Studie von Schweizer-Hirt et al. [1978] konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die durch Orangensaft erweichten Schmelzproben leichter mit der Zahnbürste abradierbar sind als die unbehandelten Schmelzproben. Erwartungsgemäß war bei zusätzlicher Verwendung von Zahnpasten der Substanzverlust wesentlich höher, wobei zwischen den verschiedenen Zahnpastasorten erhebliche Unterschiede bestanden. Nur schwach abrasive Zahnpasten sollten deshalb den Patienten, die an Erosionen leiden, empfohlen werden.

In einer neueren Studie von Jaeggi und Lussi [1999] wird genauer auf den Zeitraum zwischen dem Konsum von sauren Lebensmitteln und dem Zeitpunkt des anschließenden Zähneputzens eingegangen. In der in situ Studie wurde die Auswirkung der Zahnbürstenabrasion auf Zahnschmelz, der zuvor einem erosiven Agens ausgesetzt war, untersucht. Menschliche Schmelzproben wurden drei Minuten in Zitronensäure eingelegt, in eine intraorale Apparatur eingesetzt und nach 0, 30 oder 60 Minuten im oralen Milieu 30 Sekunden mit Zahnpasta gebürstet. Das Putzen direkt nach der erosiven Schädigung verursachte einen Zahnhartsubstanzverlust von 0,258 μm , der sich nach 30 Minuten Wartezeit auf 0,224 μm und nach 60 Minuten auf 0,075 μm verringerte.

Weiterhin sollten Patienten mit Erosionen auf die abrasive Wirkung von zu harten, nicht abgerundeten Zahnbürstenborsten und eine geeignete

Putztechnik hingewiesen werden. Empfehlenswert sind in solchen Fällen fluoridhaltige Zahnpasten mit nur geringer abrasiver Wirkung. Auch der pH-Wert der verwendeten Zahnpasten ist hierbei als ursächlicher Faktor für Bürstabrasionen zu sehen. Attin et al. [1999] untersuchten die Abrasionsresistenz von erodierten bovinen Schmelzproben, die mit verschiedenen Gelen gebürstet wurden. Das Ergebnis war, dass die Behandlung von Schmelzerosionen mit einem sauren Fluoridgel in einer höheren Abrasionsresistenz resultiert als bei Gelen, die entweder unfluoridiert oder einen neutralen pH-Wert aufwiesen.

Produktmodifikationen mit Fluorid

In tierexperimentellen Studien konnte in diesem Zusammenhang die protektive Wirkung von Fluorid bei der Entstehung von Schmelzerosionen gezeigt werden [McClure, 1941; Restarski et al., 1945; Shabat et al., 1975]. Durch Zugabe von Fluorid zu einem sauren Getränk konnte die Ausprägung von Erosionen reduziert oder gar gestoppt werden. Die dabei ermittelten erforderlichen Fluoridkonzentrationen von bis zu 125 ppm Fluorid sind aus toxikologischer Sicht sicherlich abzulehnen. Aber schon bei geringerer Konzentration von 2 ppm Fluorid war eine Reduktion des erosiven Potenzials eines Getränks am Zahnschmelz nachweisbar [McClure, 1941; Holloway et al., 1958]. Allerdings schließt die in diesen Studien visuell vorgenommene Bewertung der Schmelzoberfläche nicht aus, dass auch bei einer Fluoridkonzentration von weniger als 2 ppm im Getränk möglicherweise mikrostrukturelle Schmelzveränderungen vorliegen können. Reussner et al. [1975] bestätigten die Hemmung der Erosion durch Fluorid als Additiv zum sauren Getränk im Rattenversuch. Sie verwendeten dabei Monofluorophosphat in einer Konzentration von 40 ppm Fluorid. Spencer und Ellis [1950] erreichten eine bis zu 60%ige Reduktion der Erosion bei Ratten durch die Zugabe von 50 ppm Fluorid zu einem Grapefruitsaft. Die Zugabe von 15 ppm Fluorid zu sauren Sportdrinks erbrachte eine Hemmung der Erosion in Rattenzähnen, dabei wurde durch die Fluoridwirkung sowohl die

Größe wie auch die Härte der Erosion reduziert [Sorvari et al., 1988]. Eine neuere Untersuchung von Sorvari et al. [1996] bestätigte, ebenfalls im Tierversuch, die protektive Wirkung von Fluorid in gleicher Konzentration (15 ppm Fluorid). Auch Gedalia et al. [1975] erzielten in Versuchen mit Hamstern durch Zugabe von 1,9 ppm Fluorid zu einem Zitrusgetränk einen protektiven Effekt bei Erosionen. Lussi et al. [1993] beobachteten unter anderem, dass die Fluoridkonzentrationen in verschiedenen Säften und Getränken mit ihrem erosiven Potenzial in vitro korreliert ist. Die dabei untersuchten Getränke in der in vitro Studie mit menschlichen Prämolaren wiesen Konzentrationen von 0,158 ppm und 0,135 ppm Fluorid auf.

Im Gegensatz dazu konnten Amaechi et al. [1998b] die genannten Ergebnisse nicht bestätigen. Sie untersuchten in einer in vitro Studie den Einfluss von Xylitol und Fluorid als Zusatz im Orangensaft in Bezug auf dentale Erosionen. Dabei wurden bovine Schmelzproben verwendet, die sechsmal täglich für eine Dauer von fünf Minuten den entsprechenden erosiven Lösungen ausgesetzt waren. Zwischen den Säureangriffen lagerten die Proben in einem künstlichen Speichel. Innerhalb von 24 Tagen lagen die Proben insgesamt 12 Stunden im Orangensaft mit den jeweiligen Additiven. Nach Gruppen eingeteilt erodierten die Proben wie folgt: A: Reiner Orangensaft, B: Orangensaft mit Xylitol, C: Orangensaft mit Fluorid in einer Konzentration von 0,5 ppm und schließlich D: Orangensaft mit Xylitol und Fluoriden. Verglichen mit der Kontrollgruppe (A) konnte eine statistisch signifikante Reduktion des Mineralverlustes nachgewiesen werden, während die Reduktionen mit Xylitol oder Fluorid alleine keine Signifikanz zeigten. Auch Attin et al. [1997a] kamen in einer in vitro Studie zu dem Schluss, dass eine Fluoridanreicherung erosiver Getränke den Schweregrad oberflächlicher Schmelzerweichung nicht beeinflussen kann. Bovine Schmelzproben wurden sechsmal einem De-/Remineralisationszyklus ausgesetzt. Die Demineralisation zur Erzeugung einer Erosion erfolgte für fünf Minuten mit dem Getränk Sprite-Light, die anschließende Remineralisation erfolgte durch Einlegen der Proben für eine Minute in künstlichen Speichel. Dabei wurde bei

17 Proben dem Speichel 200 ppm Fluorid beigefügt, bei weiteren 17 Proben wurde dem Getränk 1 ppm Fluorid zugegeben. 17 Proben, bei denen weder der Speichel noch das Getränk fluoridiert waren, dienten als Kontrolle. Dabei führte während der Remineralisationsphase appliziertes Fluorid zu einem verringerten Härteverlust von Zahnschmelz, hingegen beeinflusste eine Fluoridanreicherung erosiver Getränke den Schweregrad oberflächlicher Schmelzerweichung nicht. Lussi et al. [1995] kamen in einer in vitro Studie zu dem gleichen Ergebnis. Allerdings waren die Fluoridkonzentrationen in den Getränken sehr gering (0,03-0,28 ppm Fluorid).

Lokale Applikation von Fluorid

Insgesamt liegen nur wenige Studien über die Wirkung von Fluoriden bei Erosionen vor.

Es wurde gezeigt, dass eine lang andauernde Applikation von einem Fluoridlack oder einer -lösung vor einem erosiven Angriff einen protektiven Effekt haben kann. So zeigten Sorvari et al. [1994] die Wirkung von konzentriertem Fluoridlack und Spüllösungen. Die in vitro Untersuchungen am Zahnschmelz demonstrierten, dass eine vor einer Erosion für 24 Stunden erfolgte hoch dosierte Fluoridapplikation mit Duraphatlack oder eine Behandlung für 48 Stunden mit einer Fluoridspüllösung zu einer Verringerung des durch die Erosion ausgelösten Mikrohärteverlustes führen. Allerdings ist dieses Ergebnis von anderen Autoren nicht oder nur bedingt bestätigt worden. So konnten Rytömaa et al. [1988] in einer in vitro Studie an bovinen Zähnen keinerlei protektive Wirkung von 2 ppm Fluorid, das dem Speichel während der Remineralisationsphase zugesetzt wurde, zeigen. Auch fanden Xhonga und Sognaes [1973] in vivo bei Anwendung verschiedener Prophylaxemaßnahmen nur eine minimale protektive Wirkung. Sie untersuchten den Effekt von Fluoridapplikationen in verschiedenen Konzentrationen.

Weiterhin erscheint die häufige Applikation von niedriger konzentrierten Präparaten wie Fluoridzahnpasten und fluoridhaltigen Spüllösungen

wirkungsvoller. Es konnte gezeigt werden, dass dadurch die Remineralisation erosiver Schmelzläsionen deutlich gefördert werden kann [Wilder-Smith, 1984; Schick, 1987].

Graubart et al. [1972] haben in einer in vitro Studie gezeigt, dass das Eintauchen von Schmelzproben in Grapefruitsaft für 24 Stunden eine Schicht von 22 µm an der Schmelzoberfläche auflöste. Eine vierminütige Vorbehandlung mit 2% NaF reduzierte die Dicke der aufgelösten Schicht auf 9,5 µm. Auch Munoz et al. [1999] bestätigten den Effekt von fluoridierten Zahnpasten bei Erosionen. Sie verwendeten dabei sowohl eine Remineralisationszahnpasta, die neben NaF zusätzlich Kalzium- und Phosphationen zur Verfügung stellte, wie auch eine konventionelle Zahnpasta, die nur NaF enthielt. Es wurden Proben aus menschlichen Zähnen hergestellt, die entweder vor oder nach dem Säureangriff mit einem erosiven Getränk für fünf Minuten mit den jeweiligen Zahnpasten remineralisiert wurden. Beide Behandlungen reduzierten den Härteverlust zwischen 3,3% und 12,1%, allerdings war die Wirkung der Remineralisationszahnpasta effektiver. In einer in situ Studie von Gedalia et al. [1992] konnte ebenfalls eine Wiedererhärtung von Zahnschmelz nach einer Spülung mit Meridol (0,025% Fluorid) nachgewiesen werden. Jedoch wurden in keiner der aufgeführten Studien die Werte für die initiale Mikrohärtigkeit durch Fluoridbehandlungen erreicht. In nur einer Studie wurde der Fluorideffekt quantifiziert; profilometrische Messungen ergaben, dass eine einzelne Applikation einer Fluorid-Zahnpasta auf Zahnschmelz vor einer erosiven Exposition einen protektiven Effekt von ungefähr 20% hat [Davis und Winter, 1977].

Nachfolgend sind Therapieempfehlungen für Patienten mit Erosionen zusammengefasst [Imfeld, 1996a]:

- Verwendung von weichen oder mittleren Zahnbürsten
- Verwendung von wenig abrasiver, fluoridreicher Zahnpasta
- Kein Zähneputzen unmittelbar nach einem Säureangriff

- Anwendung der vertikalen Bürsttechnik
- Verwendung von niedrig dosierter (0,025-0,005% Fluorid) Mundspülung mehrmals täglich
- Verwendung von hoch konzentriertem Fluoridgelee (>1% Fluorid) zweimal pro Woche

Insgesamt gibt es jedoch nur wenig quantitative Studien, die den Effekt von lokalen Fluoridierungen beschreiben. Deshalb war es das Ziel dieser Studie, einen möglichen Effekt von Fluorid bei Erosionen zu quantifizieren.

3 Material und Methoden

3.1 Herstellung der Proben

Die Versuche wurden mit 20 operativ entfernten menschlichen Weisheitszähnen durchgeführt, die vollständig knöchern impaktiert gewesen waren. Es wurden nur Zähne verwendet, die eine homogene Schmelzoberfläche hatten und keine Beschädigungen auf Grund der chirurgischen Intervention aufwiesen. Um einer Austrocknung der gesammelten Zähne vorzubeugen, wurden sie unmittelbar nach der chirurgischen Entfernung in einer gesättigten Thymollösung (Chem. 1) aufbewahrt.

Die quantitative Bestimmung des Mineralgehaltes/-verlustes mit der longitudinalen Mikroradiographie (LMR) erforderte die Herstellung von circa 400 µm dicken Schmelzschnitten mit einer Fläche von minimal 4x4 mm (Abb. 1).

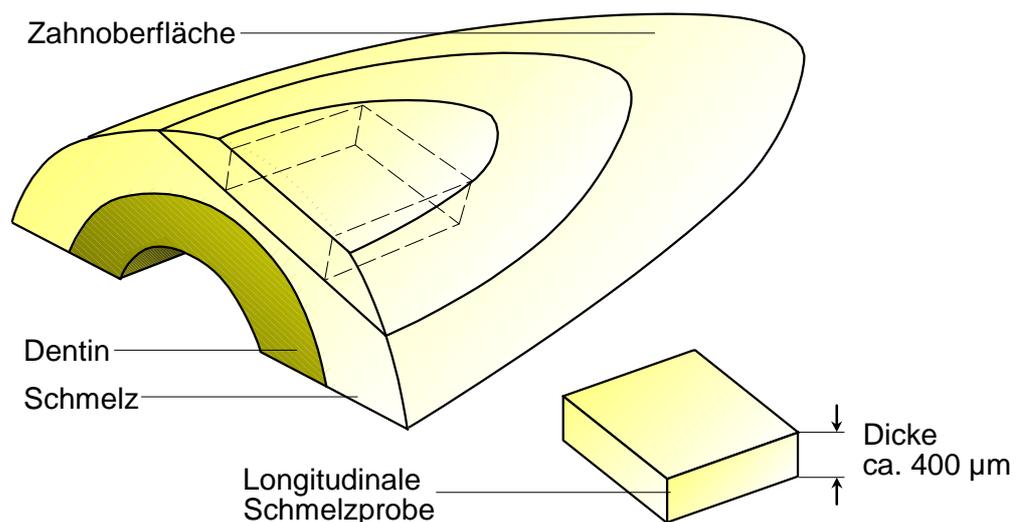


Abb.1: Schmelzprobe für die longitudinale Mikroradiographie (aus: De Josselin De Jong E. et al., Comparison of methods in caries research, 1987)

Dazu wurden die Zähne zuerst vorsichtig von Weichgewebsresten befreit. Die Abtrennung der Zahnwurzeln sowie der Schmelzschnitte wurde mit Hilfe einer diamantierten Bandsäge (Mat. 1) durchgeführt. Gemäß vier Versuchsgruppen wurden vier Schmelzschnitte mit einer Dicke von ca. 1000 μm aus einem Zahn gewonnen (Abb. 2). Während des Trennvorgangs war die Bandsäge konstant auf die Geschwindigkeitsstufe 5 (Schnittgeschwindigkeit ca. 200 m/min) eingestellt; der Schlitten wurde durch ein Gewicht von 50 g bewegt; auf ausreichende Wasserkühlung wurde geachtet.

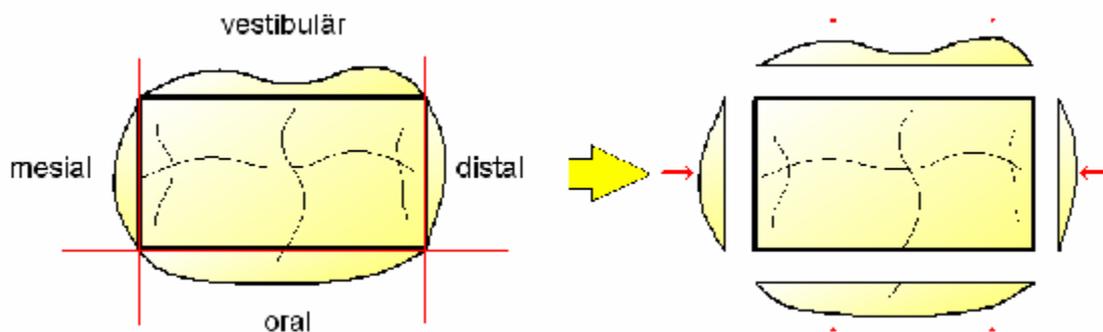


Abb.2: Abtrennen von vier Schmelzstücken pro Zahn

Zur Herstellung einer planoparallelen Schmelzprobe mit ausreichend großer Versuchsfläche wurden zunächst etwa 400 μm der gewölbten Zahnoberfläche der Schmelzschnitte mit der diamantierten Bandsäge abgetragen. Anschließend wurde die Probe von der pulpalen Seite her mit einem Mikroschleifsystem (Mat. 2) auf die erforderliche Dicke von etwa 400 μm gebracht. Es fand hierbei ein Schleifpapier der Körnung 800 (Mat. 3)

Verwendung. Die Probendicke wurde mit einer Mikrometerschraube (Mat. 4) überprüft. Alle Trenn- und Schleifvorgänge erfolgten unter reichlich Wasserkühlung und mit an Objektträgern (Mat. 5) durch Fixationskleber (Chem. 2) befestigten Proben. Zwischen den verschiedenen Arbeitsgängen wurden die Proben stets feucht gelagert.

Die Schmelzproben wurden anschließend in entsprechende LMR-Probenhalter (Mat. 6) mit Fixationskleber (Chem. 2) eingeklebt. Es wurde darauf geachtet, dass die Proben in zentraler Lage und parallel zur Unterkante des Halters sowie parallel in der Horizontalen fixiert wurden. Die pulpale Seite wies dabei nach unten.

Die fixierten Schnitte wurden mit Ethanol 70% (Chem. 3) und Watterollen gereinigt. Die anschließende Kontrolle erfolgte unter einem Stereomikroskop (Mat. 7). Es konnten so Verunreinigungen bzw. Fremdpartikel auf der Versuchsoberfläche ausgeschlossen werden. Zur Herstellung eines definierten Versuchsfeldes wurde die Schmelzoberfläche mit einem Tape der Größe 2x2 mm versehen. Das Tape wurde zentral und parallel zur Unterkante des Probenträgers mit einer Pinzette angebracht. Anschließend wurden Bohrungen an allen vier Eckpunkten des Tapes vorgenommen, um das definierte Versuchsfeld im Mikroradiographiegerät zu identifizieren. Die Bohrungen wurden mit einem in einem Winkelstück mit Wasserkühlung eingespannten diamantierten sowie flammenförmigen Bohrer (Mat. 8) durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass die Bohrungen drucklos und axial erfolgten um Schmelzrisse zu vermeiden. Die mit Tape und Bohrungen versehenen Proben wurden nun mit einem Nagellack (Mat. 9) dünn, gleichmäßig und vollständig beschichtet. Nach Trocknung des Nagellackes wurde das Tape vorsichtig unter dem Stereomikroskop (Mat. 7) mit Skalpell und Pinzette abgezogen, dabei wurden die Nagellackkanten gesäubert und das Versuchsfeld von Kleberresten sorgfältig befreit. Das so erhaltene nagellackfreie Areal stellte das eigentliche Versuchsfeld dar (Abb. 3).

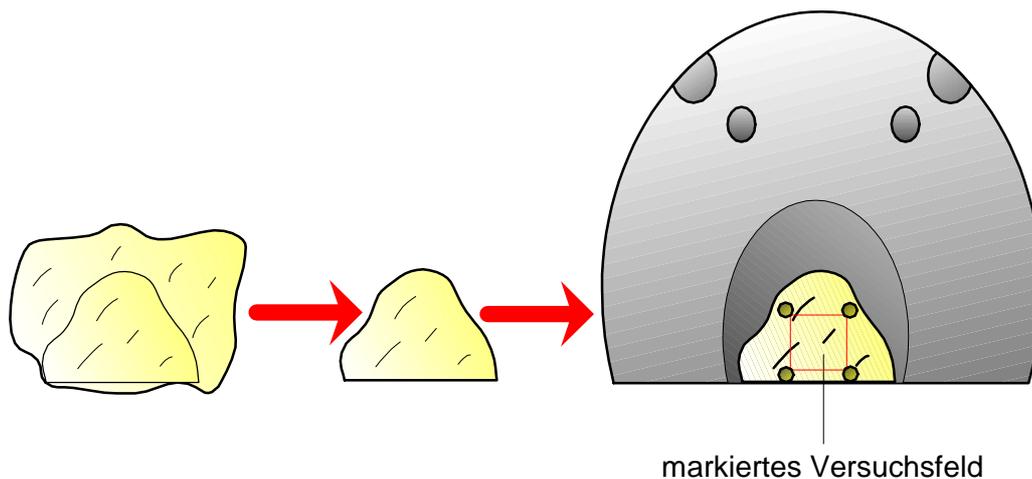


Abb. 3: Fixierung und Markierung des Schmelzschnittes im LMR-Probenhalter

3.2 Versuchsgruppen

Es wurden vier verschiedene Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Behandlungen bestimmt. Da die Zusammensetzung des Zahnschmelzes der einzelnen ausgewählten Zähne recht unterschiedlich sein kann, wurde jeweils einer der vier Schmelzschnitte jeden Zahnes einer Versuchsgruppe zugeordnet und auf dem LMR-Probenhalter (Mat. 6) entsprechend beschriftet.

Versuchsgruppen:

Gruppe I: Kontrollgruppe, keine Fluoridapplikation
6x5 Min/Tag 0,05 molare Zitronensäure

Gruppe II: 5 Min Fluoridgel (Elmex-Gelee, 0,23% F⁻ aus Olafur, 0,02% F⁻ aus Dectaflur und 1% F⁻ aus NaF) 24 Stunden vor Versuchsbeginn

3x5 Min/Tag Fluoridzahnpaste (Colgate, 0,15% F⁻ aus NaF)

6x5 Min/Tag 0,05 molare Zitronensäure

Gruppe III: 3x5 Min/Tag Fluoridzahnpaste (Colgate, 0,15% F⁻ aus NaF)

6x5 Min/Tag 0,05 molare Zitronensäure

Gruppe IV: 3x5 Min/Tag Milchapplikation

3x5 Min/Tag Fluoridzahnpaste (Colgate, 0,15% F⁻ aus NaF)

6x5 Min/Tag 0,05 molare Zitronensäure

Von allen Schmelzproben wurden vor Versuchsbeginn Mikroradiogramme (siehe 3.5) erstellt.

Die entsprechenden Behandlungen wurden an fünf aufeinander folgenden Tagen durchgeführt. An jedem Versuchstag erfolgten sechs Säureattacken zur Erosionserzeugung, entsprechend drei Haupt- und drei Zwischenmahlzeiten. Alternierend wurden die Proben entsprechend den Gruppen der Fluorid- und Milchapplikation ausgesetzt. Während der fünftägigen Versuchsdauer wurden die Schmelzproben zwischen den Behandlungen in physiologischer Kochsalzlösung (Chem. 4) aufbewahrt. Sowohl das Erodieren als auch die Aufbewahrung der Proben erfolgte in einem Schwenkbad (Mat. 10) bei 37° C mit einer Schüttelgeschwindigkeit der Stufe 1 und der Energiestufe 4.

Als Abschluss jeden Versuchstages wurden alle Proben mikroradiographisch und profilometrisch (siehe 3.6) gemessen.

3.3 Erzeugung der Erosionen

Zur Erzeugung der Erosionen wurde 0,05 molare Zitronensäure (Chem. 5) mit einem pH-Wert von 2,3 verwendet, wobei die Lösung zu Beginn eines jeden Versuchstages neu angesetzt wurde. Entsprechend der Versuchsanordnung wurden die Schmelzproben sechsmal täglich für 5 Min mit einem Sieb in die Säurelösung getaucht, so dass für alle Proben exakt dieselbe Einwirkzeit gewährleistet war. Danach wurden die Proben mit Wasser abgespült. Die Säurelösung war während des gesamten Versuchsablaufs mit Frischhaltefolie (Mat. 11) bedeckt, der pH-Wert wurde dreimal täglich mit einem pH-Meter (Mat. 12) kontrolliert und die Lösung nach dreimaliger Benutzung ausgewechselt.

3.4 Hemmung der erosiven Wirkung

Um eine eventuelle Remineralisation der Schmelzproben bzw. eine Hemmung der erosiven Wirkung der Säurelösung zu erhalten, wurden die vorbereiteten fixierten Schmelzschnitte entsprechend der Versuchsgruppen nach der Einwirkung der Zitronensäure unterschiedlichen Fluorid- bzw. Milchapplikationen unterworfen (siehe 3.8). Es wurde eine pasteurisierte, homogenisierte Vollmilch (Mat. 13) ausgewählt. Für die Fluoridapplikation wurde eine Zahnpasta (Mat. 14) und ein Fluoridgelee (Mat. 15) verwendet. Der Fluoridgehalt des Gels beträgt 1,25%, der von der Zahnpasta 0,15%.

Mit Elmex-Gelee (Mat. 15) wurden 24 Stunden vor Versuchsbeginn die Schmelzproben der entsprechenden Gruppe gleichmäßig beschickt. Die Zahnpasta wurde mit Wasser im Verhältnis 3:1 gemischt (3 Teile Wasser, 1 Teil Zahnpasta). An jedem Versuchstag wurde die Lösung frisch angemischt und frische Milch verwendet. Während der gesamten Versuchsdauer waren sowohl die Lösung wie auch die Milch mit Frischhaltefolie (Mat. 14) abgedeckt und wurden im Schwenkbad (Mat. 12) aufbewahrt. Zur Applikation

wurden, simultan der Säureaussetzung, Siebe verwendet. So konnten die fixierten Schnitte gleichzeitig und gleichmäßig ihrer entsprechenden Behandlung zugeführt werden.

3.5 Mikroradiographische Bestimmung des Mineralverlustes

3.5.1 Funktionsprinzip der LMR

Die longitudinale Mikroradiographie stellt eine nicht destruktive Methode zur Bestimmung des Mineralgehaltes im Zahnschmelz dar. Die Aufnahmen werden in einem linsenlosen Kameragehäuse vorgenommen, welches mit der Objektivseite am Röntgentubus gekoppelt ist. In diesem Kameragehäuse befindet sich neben der Probenhalterung eine Aluminium-Eichtreppe (Abb. 4). Die Aluminium-Eichtreppe dient zur Kalibrierung des Mikrocomputers für die Auswertung des Filmes. Die Röntgenstrahlen (CuK-Alpha-Strahlen) treffen auf die fixierte Schmelzprobe sowie die Aluminium-Eichtreppe und werden auf einen hoch auflösenden Film projiziert. Der Filmentwicklung schließt sich die Auswertung des Mikroradiogramms (Filmes) an. Diese geschieht mittels eines Messsystems, das ein computergesteuertes Mikroskop, ein Densitometer, sowie die notwendige Software umfasst. Um den Basismineralgehalt einer Schmelzprobe zu ermitteln, wird vor Versuchsbeginn eine erste mikroradiographische Aufnahme angefertigt. Im Laufe der Auswertung dieses ersten Mikroradiogramms werden Referenzpunkte festgelegt, die bei allen nachfolgenden Mikroradiogrammen derselben Probe automatisch angefahren und abgescannt werden. Mit Hilfe von zweidimensionalen Scans der Lichttransmissionswerte der Aluminium-Eichtreppe sowie der Schmelzprobe werden in einem zuvor festgelegten Koordinatensystem die Werte des Mineralgehaltes der Schmelzprobe ermittelt.

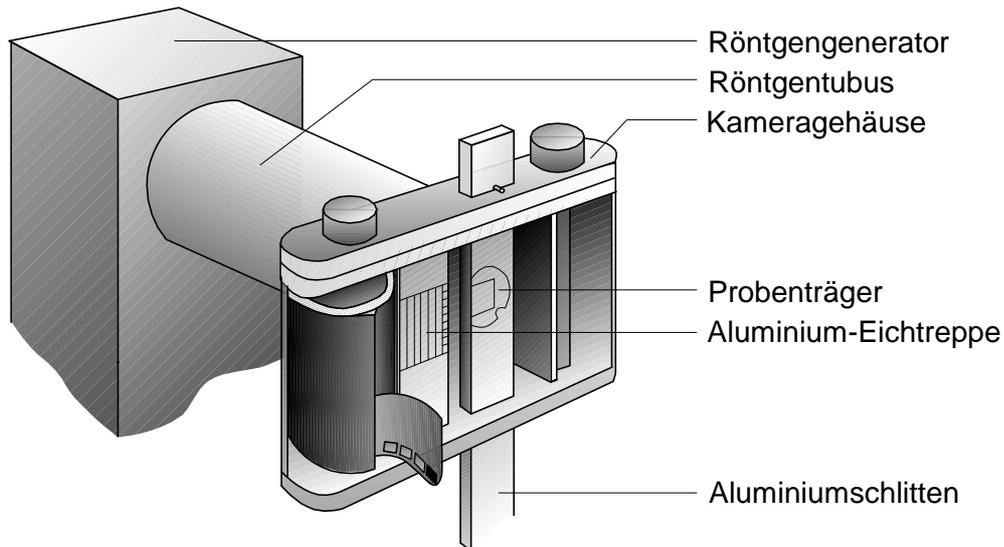


Abb. 4: Übersicht Filmkamera und Röntgengenerator

3.5.2 Erstellung der Mikroradiogramme

Vor Versuchsbeginn und nach jedem Versuchstag wurden Mikroradiogramme angefertigt. Dazu wurden die Proben oberflächlich mit Druckluft (Mat. 16) getrocknet, eine völlige Austrocknung des Schmelzes wurde sorgfältig vermieden. Die Probenhalter wurden mit einer Arretierung in die Filmkamera (Abb. 4) eingebracht. Der Halter garantierte, dass die Zahnschnitte in einer definierten Ebene befestigt waren. Der Röntgengenerator (Mat. 17) wies eine Spannung von 20 kV wie eine Stromstärke von 50 mA auf. Zur Erstellung der Mikroradiogramme wurde ein Spezialfilm (Mat. 18) verwendet, der für die Dauer von 2,5 Min belichtet wurde. Die belichteten Filme wurden in der Dunkelkammer in eine Entwicklerspule (Mat. 19) eingelegt, anschließend für zehn Minuten einem Entwickler (Chem. 6) ausgesetzt. Die Temperatur lag dabei konstant bei 20°C. Danach wurde der Film mit destilliertem Wasser gespült und für sieben

Minuten in ein Fixierbad (Chem. 7) gebracht. Es folgten Spülungen unter fließenden Leitungswasser für vier Minuten, Spülungen mit Ethylalkohol (Chem. 8) für zwei Minuten, wiederum Spülungen unter fließendem Leitungswasser für 30 Minuten und abschließend für eine Minute mit destilliertem Wasser. Zuletzt wurden die Filme getrocknet.

Für die Auswertung bedurfte es einer entsprechenden Vorbereitung der Filme. Um eine eindeutige reproduzierbare Position der einzelnen Mikroradiogramme im Mikroskop zu gewährleisten, wurden die einzelnen Filme mittels einer Schablone (Mat. 20) und einem transparenten Kleber (Mat. 21) zwischen zwei Objektträgern (Mat. 22) fixiert (Abb. 5). Bevor die Objektträger zum Einsatz kamen, wurden sie sorgfältig mit Ethanol 70% (Chem. 3) und Kompressen gesäubert, um etwaige Verunreinigungen und dadurch Verfälschungen des Messergebnisses auszuschließen.

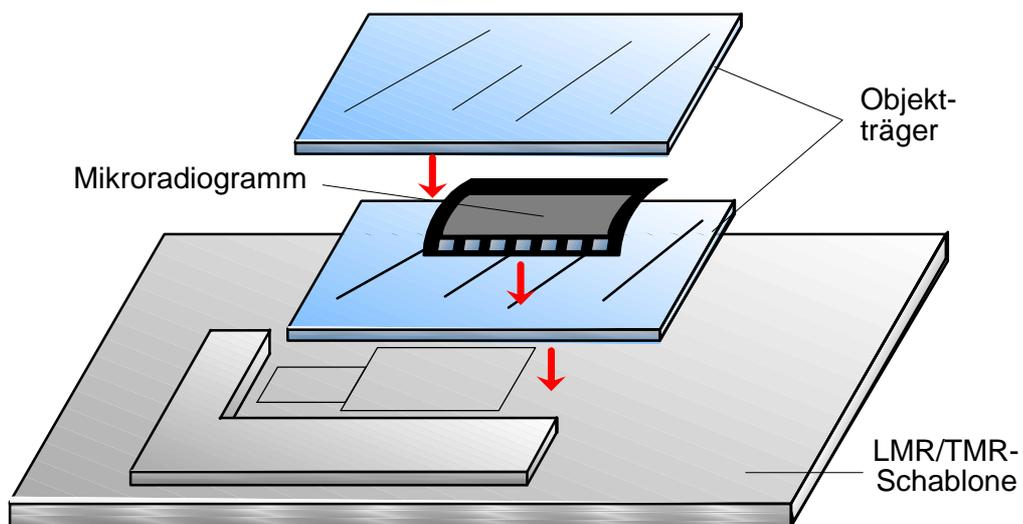


Abb.5: Fixierung der Mikroradiogramme mittels Schablone

3.5.3 Mikroradiographische Auswertung

Die Mikroradiogramme wurden auf dem computergesteuerten Objektträgtisch des Densitometers fixiert und über die Steuerung am Computer die Referenzpunkte aufgesucht. Im Base-Scan der Schmelzprobe wurde das abzuscannende Areal anhand von zwei Referenzpunkten definiert. Dies geschah bei 10-facher Vergrößerung; anschließend war die Lichtintensität einzustellen. Nach Adjustieren der Spannung des Photoverstärkers wurde die Aluminium-Eichtreppe automatisch abgetastet. Der Computer berechnete den Mineralgehalt des definierten Areals durch Messung der Lichttransmissionswerte. In dreidimensionalen Bildern konnte die Abnahme des Mineralgehaltes in μm (Change) zur Einwirkzeit der Zitronensäure dargestellt werden.

3.6 Profilometrische Bestimmung des Mineralverlustes

Profilometrische Messungen erlauben durch optische oder mechanische Abtastung eine Charakterisierung von Oberflächen.

Die profilometrische Untersuchung der Schmelzproben erfolgte mit dem Perthometer S8P 5.6 (Mat. 24) in Verbindung mit einem mechanischen Taster (Mat. 25). Der mit einem Vorschubgerät verbundene Mikrotaster tastete das Profil der Oberfläche des befestigten Schmelzschnittes entlang einer Schnittlinie geradlinig ab (Tastschnittverfahren). Die zuvor definierte Taststrecke wurde in eine Vorlaufstrecke, fünf Einzelmessstrecken und eine Nachlaufstrecke unterteilt. Die fünf Einzelmessstrecken bildeten die Gesamtstrecke, die zur Auswertung verwendet wurde. Die Ablenkungen der Tastspitze des Mikrotasters wurden in elektrische Impulse umgewandelt, von einem Messverstärker potenziert und anschließend in digitale Messsignale transformiert. Im dazu gehörigen Computer konnten die

ermittelten Daten graphisch (D-Profil) und tabellarisch dargestellt sowie ausgewertet werden.

Zu Beginn dieser Versuchsreihe wurden alle Mess- und Auswertbedingungen festgelegt. Es fand der mechanische Taster T8 FRW 750-32 (Mat. 25) Verwendung. Zur Oberflächenabtastung wurde der Vertikalbereich auf 125 μm eingestellt, so war eine hohe Auflösung der Messwertverarbeitung sichergestellt. Die Länge der Taststrecke lag bei 1,75 mm, die Geschwindigkeit, mit der der Taster die Oberfläche abtastete, betrug 0,1 mm/s. Es wurden sechs parallele Taststrecken im Abstand von 0,2 mm pro Zahnschnitt gemessen (Parallelverschiebung). Zur Filterung der verschiedenen Wellenlängen wurde ein Gaußfilter eingesetzt. Die Grenzwellenlänge für die Filterung wurde auf 0,25 mm festgelegt. Für die Darstellung der ertasteten Oberflächen wurde das D-Profil angewendet. Aus den ermittelten Werten wurde die mittlere Profiltiefe als zu vergleichender Parameter benützt.

Zur profilometrischen Messung wurde jeweils eine der vier Kanten des Versuchsfeldes pro Versuchstag von Nagellack (Mat. 9) befreit. Dies geschah unter dem Stereomikroskop (Mat. 7) mit Hilfe eines Skalpells, dabei wurde jeglicher Kontakt mit der erosiv veränderten Schmelzoberfläche vermieden. Die LMR-Probenhalter (Mat. 6) wurden hierzu mit Knetmasse einzeln auf dem Messständer des Perthometers (Mat. 24) fixiert. Die Fixierung erfolgte parallel zur Bezugsebene des Tastsystems, somit war die senkrechte Abtastung zur Schmelzoberfläche gewährleistet. Der Beginn der Taststrecke wurde so ausgewählt, dass der Anfang im Bereich des unbehandelten Schmelzes (ehemals mit Nagellack bedeckt) lag. Der Mikrotaster (Mat. 25) bewegte sich dann mit konstanter Geschwindigkeit über die Kante ins erosiv veränderte Areal (eigentliches Versuchsfeld).

3.7 Reproduzierbarkeit der Messungen

3.7.1 Reproduzierbarkeit der mikroradiographischen Messungen

Es wurden verschiedene wiederholte Auswertungen durchgeführt, um die Messgenauigkeit der verwendeten Geräte und Materialien zu überprüfen. So wurden das Filmmaterial (Mat. 18), die Belichtungsapparatur zur Herstellung der Mikroradiogramme (Mat. 17) und die Scan-Einrichtung (Mat. 23) getestet.

Zur Überprüfung der Abweichung aufgrund des Filmmaterials und der Filmentwicklung wurde dieselbe Schmelzprobe auf fünf verschiedenen Filmen belichtet und ausgewertet (Tab. 1).

Tab.1: Wiederholte Auswertung der gleichen Schmelzprobe auf fünf verschiedenen Filmen.

Film-Nr.	1	2	3	4	5
Mineralgehalt (μm)	398,0	398,0	402,0	399,0	399,0

Zur Überprüfung der Abweichungen bei der Projektion der Probe auf den Film wurde dieselbe Schmelzprobe zwanzigmal unter gleichen Aufnahmebedingungen (Belichtungszeit, Stromstärke und Spannung) auf einem Film belichtet (Tab. 2).

Tab.2: Scans der wiederholten Aufnahme einer Probe auf demselben Film

Mineralgehalt (μm)	n	\bar{x}	s	Min	Max
LMR	20	396,6	1,7	393,0	400,0

Bei der Überprüfung der Scan-Einrichtung, d.h. das Lichtmikroskop mit xy-Tisch in Verbindung mit dem Rechner, wurde das Mikroradiogramm der

selben Schmelzprobe insgesamt zehnmal gescannt und ausgewertet (Tab. 3).

Tab.3: Wiederholte Auswertung desselben Scans einer Probe

Mineralgehalt (μm)	n	\bar{x}	s	Min	Max
LMR	10	397,3	1,8	395,5	400,0

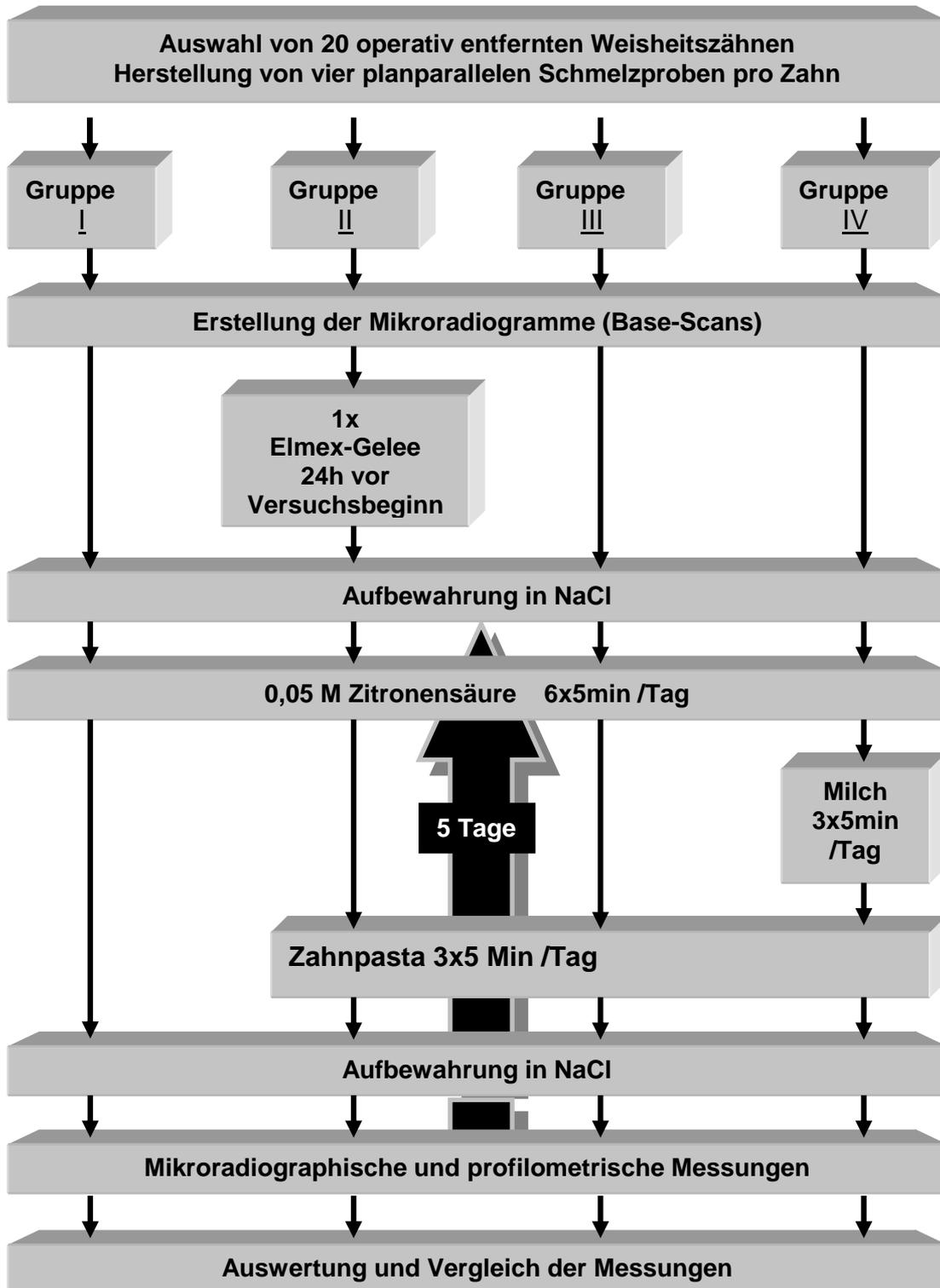
3.7.2 Reproduzierbarkeit der profilometrischen Messungen

Es wurde eine entsprechend vorbereitete Schmelzprobe mit 0,05 molarer Zitronensäure für 30 Minuten behandelt. Anschließend wurde der Nagellack vollständig entfernt und die vier Kanten der ungeätzten Flächen zum geätzten rechtwinkligen Teil der Schmelzprobe jeweils zehnmal profilometrisch abgetastet und ausgewertet (Tab. 4). Um eine flächenhafte Abtastung zu erreichen, lagen sechs Taststrecken nebeneinander.

Tab.4: Wiederholte profilometrische Abtastungen derselben Probe

Mineralgehalt (μm)	n	\bar{x}	s	Min	Max
1.Kante	10	16,2	0,9	14,7	18,3
2.Kante	10	20,0	1,2	18,5	23,0
3.Kante	10	18,9	1,9	15,6	22,1
4.Kante	10	13,6	1,6	11,0	15,9

3.8 Überblick über den Versuchsaufbau



3.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS für Windows. Für alle Daten konnte eine hinreichende Normalverteilung angenommen werden (Kolmogorov-Smirnov-Test). Mit dem t-Test für abhängige Stichproben erfolgte der Vergleich innerhalb der Gruppen. Für den Vergleich zwischen den Gruppen wurde eine einfache Varianzanalyse (ANOVA) mit Anschlussstest nach Tukey durchgeführt. Die Messwerte aus LMR und Profilometrie wurden nach Pearson korreliert.

Folgende Abkürzungen sind bei der Darstellung der Ergebnisse definiert:

Min	=	Minimalwert
Max	=	Maximalwert
p	=	Irrtumswahrscheinlichkeit
r	=	Korrelationskoeffizient nach Pearson
s	=	Standardabweichung
\bar{x}	=	arithmetischer Mittelwert
ns	=	nicht signifikant
*	=	signifikant ($p \leq 0,05$)
**	=	sehr signifikant ($p \leq 0,01$)
***	=	höchst signifikant ($p \leq 0,001$)

3.10 Materialien- und Chemikalienliste

- Mat. 1: Exakt Trennschleifsystem, Exakt-Apparatebau Otto Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 2: Exakt Mikroschleifsystem, Exakt-Apparatebau Otto Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 3: Schleifpapier FE 50, WB-Flex 18A, Körnung P-800, Hermes, (D)
- Mat. 4: Mikrometerschraube mit Digitalanzeige (0-35mm/0,001mm); Mitutoyo, (J)
- Mat. 5: Plexiglas Objektträger, 5 x 10 cm, Exakt-Apparatebau Otto Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 6: Probenhalter LMR, Inspektor Research Systems, Amsterdam, (NL)
- Mat. 7: Stereolichtmikroskop, Leitz, Wetzlar, (D)
- Mat. 8: Zylinderdiamant (ISO No. 806 314 111 514), Komet, Lemgo, (D)
Rotes Winkelstück, Siemens, Bensheim, (D)
- Mat. 9: Nagellack schnelltrocknend, Magaret Astor, Mainz, (D)
- Mat. 10: Schwenkbad Typ Nr. 3047, Köttermann, Hänigsen, (D)
- Mat. 11: Frischhaltefolie, Melitta Haushaltsprodukte, Minden, (D)
- Mat. 12: pH-Meter 761 Calimatic, Knick, Berlin, (D)
- Mat. 13: Frische Vollmilch, Erlenhof, (D)
- Mat. 14: Zahnpasta Kariesschutz-Gel (100ml), Colgate; (D)
- Mat. 15: Elmex-Gelee, Wybert, Lörrach, (D)
- Mat. 16: Dust-Off, Compressed-Gas Duster, Erno, Albbruck, (D)
- Mat. 17: Röntgen-Generator PW 1830/30, Phillips, Kassel, (D)
- Mat. 18: Kodak high speed holographic film SO-253, Kodak AG, Stuttgart, (D)
- Mat. 19: Entwicklerspule, Hama, (D)
- Mat. 20: LMR-Schablone, Inspektor Research Systems, Amsterdam, (NL)
- Mat. 21: Kleb-Kuli, Tesa Beiersdorf, Hamburg, (D)
- Mat. 22: Objektträger 76 x 26 mm, Menzel-Gläser, (D)

- Mat. 23: Inspektor Mikroradiographiesystem, Inspektor Research Systems, Amsterdam, (NL)
- Mat. 24: Perthometer S8P 5.6, Feinprüf, Göttingen, (D)
- Mat. 25: mechanischer Taster T8 FRW-750-32, 6851401, Perthen, Mahr, (D)
-
- Chem. 1: Thymol Pulver, Fluka Chemie AG, Buchs, (CH)
- Chem. 2: Fixationskleber Technovit 7230 VLC, Kulzer-Exakt, Wehrheim, (D)
- Chem. 3: Ethanol 70%, Merck, Darmstadt, (D)
- Chem. 4: Isotone Kochsalzlösung 0,9%, Braun, Melsungen, (D)
- Chem. 5: Zitronensäure (Zitronensäure-Monohydrat), Art. 242.1000, Merck, Darmstadt, (D)
- Chem. 6: Entwickler Kodak D-19, Kodak AG, Stuttgart, (D)
- Chem. 7: Express-Fixiersalz, Tetenal Photowerk GmbH & Co, Norderstedt, (D)
- Chem. 8: Ethylalkohol, Merck, Darmstadt, (D)

4. Ergebnisse

4.1 Allgemeines

Nach der fünf-tägigen Versuchsdauer konnte in allen vier Gruppen ein deutlicher Mineralverlust nachgewiesen werden, wobei die entstandene Erosion bereits makroskopisch in Form einer Stufe zu erkennen war. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die drei-dimensionale Darstellung einer typischen Stufe des profilometrisch gemessenen Mineralverlustes. Die Grafik setzt sich aus sechs mittels Parallelaufzeichnung erhaltenen D-Profilen zusammen (s. Kapitel 3.6).

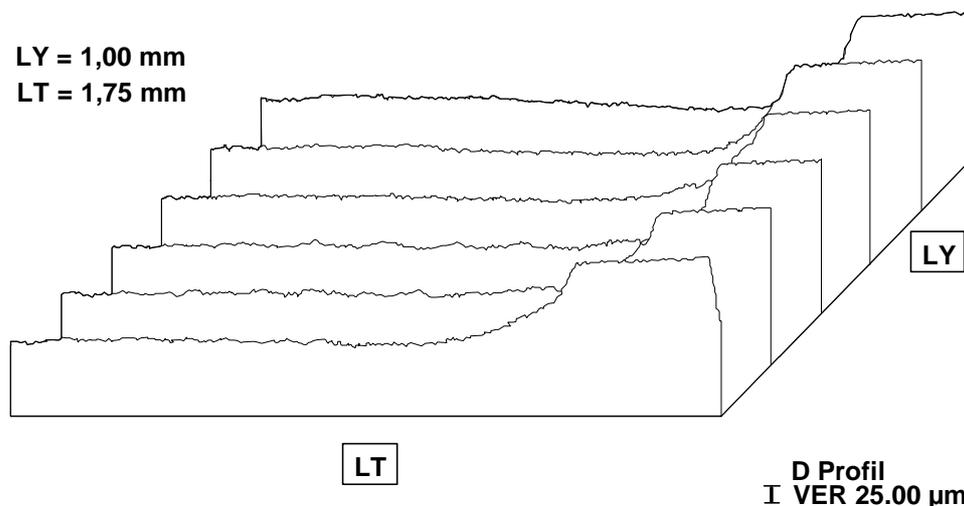


Abb.6: Darstellung des profilometrisch ermittelten Mineralverlustes (Parallelaufzeichnung)
LY entspricht der Breite der abgetasteten Fläche, LT bezeichnet die Länge der Taststrecke.

Der profilometrisch gemessene Mineralverlust lässt sich graphisch als Stufe darstellen und wird im folgenden entsprechend dieser Darstellungsform auch als Stufe x (x = Behandlungstag) bezeichnet. Der Mineralverlust wird in μm ausgedrückt.

Bei der longitudinalen Mikroradiographie wird der Verlust des Mineralgehaltes einer Probe im Vergleich zum Ausgangswert (Basescan) als

Change x bezeichnet. Change x entspricht demnach ab dem ersten Versuchstag einem additiven Wert. Abbildung 7 zeigt das 3-dimensionale Bild des mikroradiographisch gemessenen Mineralverlustes einer Probe durch die erosive Wirkung der Zitronensäure. Unten ange stellt sind die zugehörigen Werte.

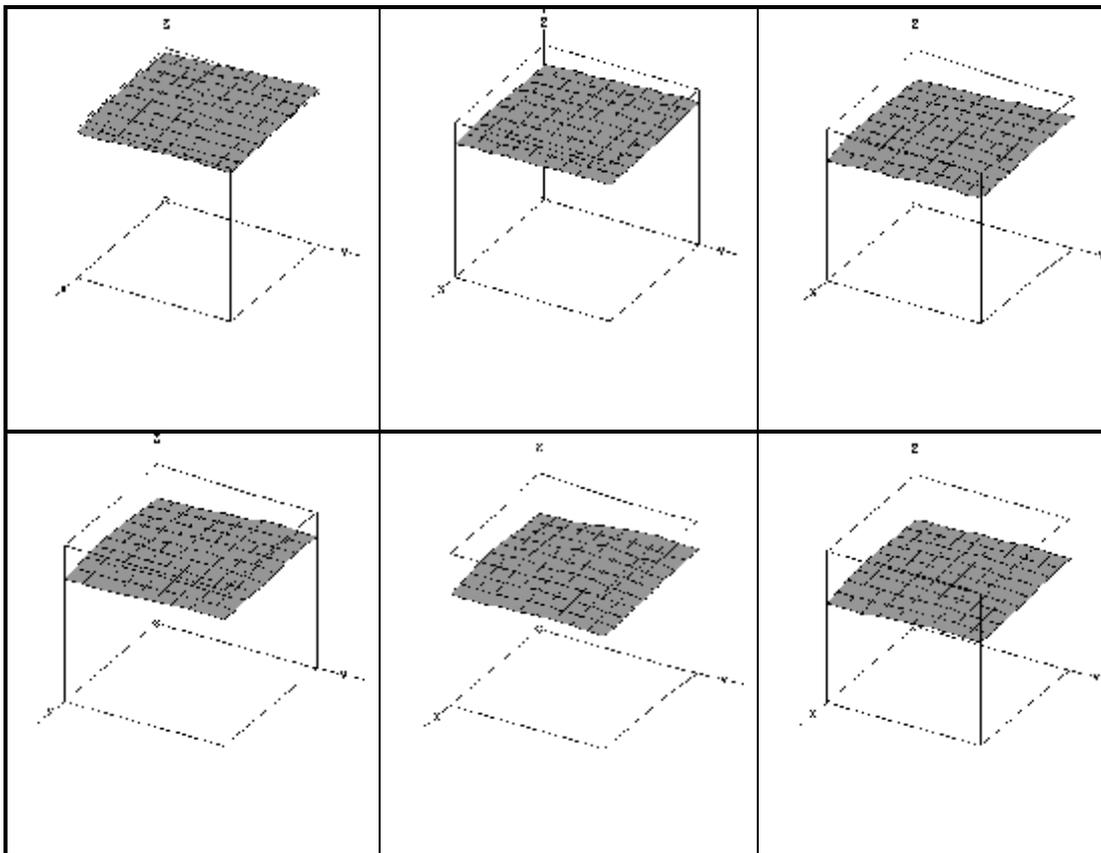


Abb.7: Dreidimensionale Darstellung des Mineralverlustes durch die longitudinale Mikroradiographie mit den dazugehörigen Werten (siehe unten).
x,y entspricht der ausgewerteten Fläche; z ist die Dimension des Mineralverlustes.

LMR Scan	Versuchszeit (h)	Mineralgehalt (μm)	Change (μm)
Basescan	0	382	0
1. Versuchstag	24	354	28,1
2. Versuchstag	48	344	38,2
3. Versuchstag	72	329	53,1
4. Versuchstag	96	319	63,1

4.2 Deskriptive Betrachtung der Ergebnisse

Sowohl mikroradiographisch (Abb. 8) wie auch profilometrisch (Abb. 9) war in allen vier Versuchsgruppen ein linearer Mineralverlust zu erkennen. Gegen Ende des Versuchs lagen die mikroradiographisch gemessenen Werte in einer Größenordnung von ca. 10 μm höher als die vergleichbaren profilometrisch gemessenen Werte. In Gruppe IV (Milch und Zahnpasta) erfolgte der geringste erosive Mineralverlust.

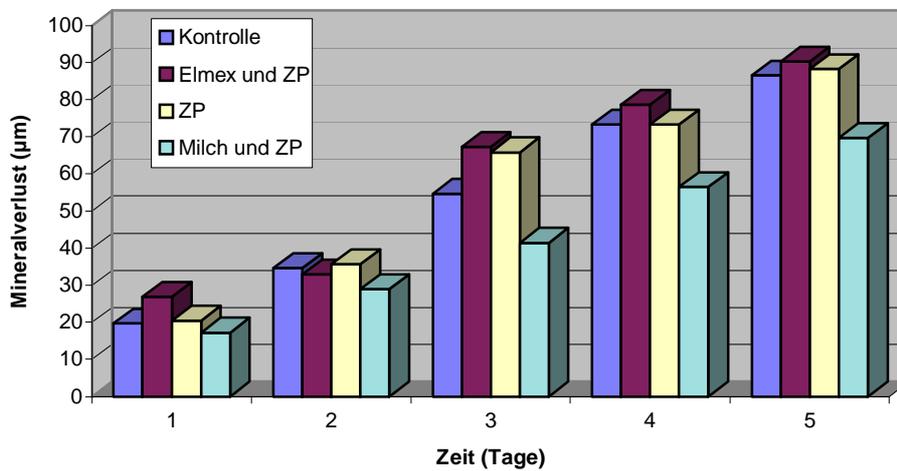


Abb.8: Mikroradiographisch gemessener Mineralverlust an allen Versuchstagen für alle Gruppen.

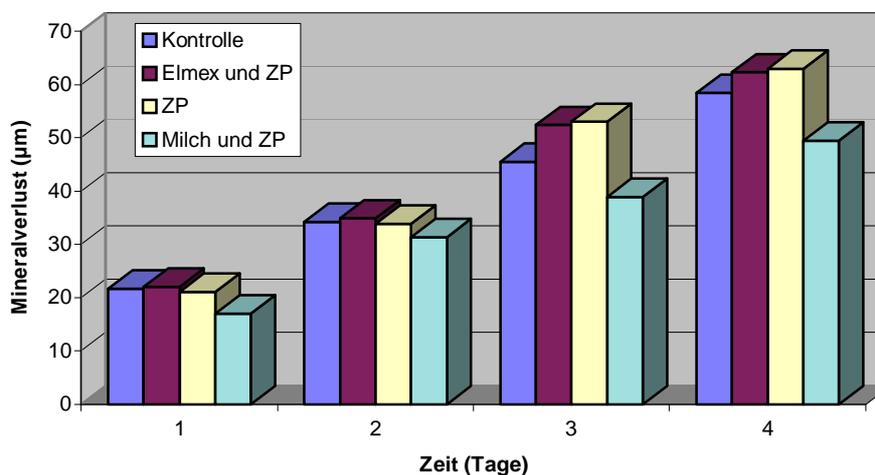


Abb.9: Profilometrisch gemessener Mineralverlust an allen Versuchstagen für alle Gruppen.

Eine Übersicht der ermittelten Daten findet sich in der folgenden Tabelle 5:

Tab.5: Übersicht über die ermittelten Werte in allen Versuchsgruppen.
 n = Anzahl der verwendeten Proben;
 \bar{x} = arithmetischer Mittelwert für den Mineralverlust (μm);
 s = Standardabweichung; Min = Minimumwert, Max = Maximumwert;
 Ch_{1-5} = Change and den Versuchstagen 1-5.

Kontrollgruppe (Gruppe I)											
LMR						Profilometrie					
	n	\bar{x}	s	Min	Max		n	\bar{x}	s	Min	Max
Ch₁	20	19,70	8,86	5,5	34,2	Stufe₁	20	21,64	4,30	13,97	30,83
Ch₂	20	34,59	9,71	17,2	49,1	Stufe₂	20	34,21	3,79	28,06	41,10
Ch₃	20	54,66	13,88	34,5	79,1	Stufe₃	19	45,48	9,28	30,60	76,07
Ch₄	20	73,30	13,31	50,0	103,0	Stufe₄	20	58,43	8,90	35,64	79,48
Ch₅	19	86,55	18,78	59,5	131,0						
Elmex / Zahnpaste (Gruppe II)											
LMR						Profilometrie					
	n	\bar{x}	s	Min	Max		n	\bar{x}	s	Min	Max
Ch₁	20	26,88	9,00	10,1	45,1	Stufe₁	20	22,10	4,54	16,05	38,81
Ch₂	20	32,94	25,25	37,7	93,5	Stufe₂	19	34,87	5,63	24,59	43,59
Ch₃	20	67,27	12,65	49,3	101,0	Stufe₃	18	52,39	6,07	44,73	69,16
Ch₄	20	78,59	13,33	55,6	99,0	Stufe₄	20	62,33	7,24	48,45	74,00
Ch₅	20	90,26	15,43	68,3	121,0						
Zahnpaste (Gruppe III)											
LMR						Profilometrie					
	n	\bar{x}	s	Min	Max		n	\bar{x}	s	Min	Max
Ch₁	20	20,46	8,40	3,7	34,4	Stufe₁	19	21,07	5,26	10,88	34,35
Ch₂	20	35,68	18,43	4,0	69,3	Stufe₂	20	33,86	5,18	22,78	43,15
Ch₃	20	65,81	10,16	51,4	89,7	Stufe₃	19	52,96	7,03	44,20	77,03
Ch₄	20	73,33	9,87	52,9	101,0	Stufe₄	20	62,97	5,87	50,99	81,03
Ch₅	20	88,25	13,59	68,6	121,0						
Milch / Zahnpasta (Gruppe IV)											
LMR						Profilometrie					
	n	\bar{x}	s	Min	Max		n	\bar{x}	s	Min	Max
Ch₁	20	17,17	10,60	1,5	47,9	Stufe₁	19	16,95	2,89	11,91	22,92
Ch₂	20	28,99	11,80	11,6	65,0	Stufe₂	20	31,39	6,42	21,10	49,28
Ch₃	20	41,40	13,10	25,4	76,7	Stufe₃	20	38,92	4,36	31,41	46,17
Ch₄	20	56,43	14,19	29,3	97,4	Stufe₄	20	49,41	8,64	39,83	71,67
Ch₅	20	69,65	16,80	39,4	115,0						

Für alle Daten kann eine hinreichende Normalverteilung angenommen werden (Kolmogorov-Smirnov-Test). So fanden im Folgenden parametrische Tests Anwendung.

4.3 Vergleich der Mineralverluste zwischen den Versuchsgruppen

Die Varianzanalyse ergab für die mikroradiographischen Messungen nach den ersten beiden Versuchstagen keine signifikanten Unterschiede. Erst nach dem dritten Versuchstag fand sich in der Gruppe mit der Zahnpastenfluoridierung in Kombination mit der Milchapplikation ein signifikant geringerer Mineralverlust im Vergleich zu allen anderen Gruppen (p jeweils $\leq 0,01$). Dieses Resultat bestätigte sich auch nach dem vierten und fünften Versuchstag (p jeweils $\leq 0,01$). Die alleinige Zahnpastenfluoridierung und auch die einmalige Fluoridierung mit dem Fluoridgel vor Versuchsbeginn hatte an keinem Versuchstag signifikante Unterschiede zur Kontrollgruppe ergeben.

Diese Ergebnisse wurden durch die profilometrischen Messungen bestätigt. Dabei fanden sich ebenfalls nach den ersten beiden Tagen keine signifikanten Unterschiede, nach dem zweiten Tag zeigte die Milchapplikation einen signifikanten Effekt gegenüber allen anderen Gruppen (p nach dem dritten Tag gegenüber der Kontrollgruppe $\leq 0,05$, ansonsten $p \leq 0,01$). Gruppe II und III zeigten wiederum zu keinem Versuchszeitpunkt signifikante Unterschiede gegenüber der Kontrollgruppe.

4.4 Vergleich der Mineralverluste innerhalb der Versuchsgruppen

Es wurde der t-Test bei gepaarten Stichproben angewendet. Anhand dessen konnte man innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen analysieren, ob sich die Differenz der Mittelwerte des Mineralverlustes signifikant voneinander unterscheiden. In Tabelle 6 sind die Mineralverluste der einzelnen Versuchsgruppen nacheinander aufgeführt. Dabei fanden sich in allen Gruppen für jeden Tag zumeist höchst signifikante Mineralverluste.

Tab. 6: Vergleich des Mineralverlustes innerhalb der vier Gruppen (t-Test).

 \bar{x} = mittlere Differenz

s = Standardabweichung

p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Gruppe	Kontrollgruppe (Gruppe I, n = 20)			Elmex/ZP (Gruppe II, n = 20)		
	\bar{x}	s	p	\bar{x}	s	p
LMR (Change, μm)						
change ₁ / change ₂	14,89	8,48	***	6,05	24,26	n.s.
change ₂ / change ₃	20,07	10,81	***	34,34	23,03	***
change ₃ / change ₄	18,64	10,05	***	11,32	10,63	***
change ₄ / change ₅	12,49	12,47	***	11,67	12,42	***
Profilometrie (μm)						
Stufe ₁ / Stufe ₂	12,56	5,66	***	12,83	6,96	***
Stufe ₂ / Stufe ₃	11,60	9,39	***	16,53	7,39	***
Stufe ₃ / Stufe ₄	12,97	12,84	***	8,67	9,24	**
Gruppe	ZP (Gruppe III; n = 20)			Milch / ZP (Gruppe IV; n=20)		
	\bar{x}	s	p	\bar{x}	s	p
LMR (Change, μm)						
change ₁ / change ₂	15,23	16,06	***	11,82	5,28	***
change ₂ / change ₃	30,12	17,22	***	12,42	6,92	***
change ₃ / change ₄	7,52	7,79	***	15,03	5,47	***
change ₄ / change ₅	14,93	9,91	***	13,22	5,64	***
Profilometrie (μm)						
Stufe ₁ / Stufe ₂	13,052	9,41	***	14,77	5,74	***
Stufe ₂ / Stufe ₃	18,93	10,42	***	7,53	8,27	**
Stufe ₃ / Stufe ₄	10,02	8,93	***	10,49	8,36	***

Der Mineralverlust pro Tag ($\text{Ver}_{\text{Tag}x}$) wurde durch Subtraktion der Change-Werte berechnet. $\text{Ver}_{\text{Tag}x}$ wird deshalb folgendermaßen definiert:

$$\text{Ver}_{\text{Tag}1} = \text{Change}_1$$

$$\text{Ver}_{\text{Tag}2} = \text{Change}_2 - \text{Change}_1$$

$$\text{Ver}_{\text{Tag}3} = \text{Change}_3 - \text{Change}_2$$

$$\text{Ver}_{\text{Tag}4} = \text{Change}_4 - \text{Change}_3$$

$$\text{Ver}_{\text{Tag}5} = \text{Change}_5 - \text{Change}_4$$

Beim nun folgenden Vergleich der einzelnen Mineralverluste pro Tag zeigten sich mehrheitlich keine Signifikanzen (Tab. 7).

Tab.7: Vergleich des mikroradiographisch gemessenen Mineralverlustes pro Versuchstag (t-Test).

\bar{x} = mittlere Differenz

s = Standardabweichung

p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Gruppe	Kontrollgruppe (Gruppe I; n = 20)			Elmex / ZP (Gruppe II; n = 20)		
	\bar{x}	s	p	\bar{x}	s	p
Ver _{Tag1} / Ver _{Tag2}	5,18	16,43	n.s.	28,28	46,40	*
Ver _{Tag2} / Ver _{Tag3}	-1,43	19,03	n.s.	-23,02	26,77	**
Ver _{Tag3} / Ver _{Tag4}	-6,32	20,86	n.s.	0,35	20,47	n.s.
Gruppe	ZP (Gruppe III; n = 20)			Milch / ZP (Gruppe IV; n = 20)		
	\bar{x}	s	p	\bar{x}	s	p
Ver _{Tag1} / Ver _{Tag2}	14,90	31,95	n.s.	0,56	11,44	n.s.
Ver _{Tag2} / Ver _{Tag3}	-22,60	20,77	***	2,62	10,30	n.s.
Ver _{Tag3} / Ver _{Tag4}	7,40	15,98	n.s.	-1,82	7,99	n.s.

Bei der Korrelation der ermittelten Werte für den Mineralverlust für die einzelnen Tage ergaben sich Schwankungen. Dabei lagen die Korrelationskoeffizienten (Pearson) zwischen 0,440** und 0,847** (LMR) bzw. -0,46 und 0,405** (Profilometrie). Demnach korrelieren die Change-Werte gering bis hoch miteinander, hingegen die Stufen-Werte nur sehr gering bis gering. Die zugehörigen Werte sind in den Tabellen 8 und 9 zusammengestellt.

Tab. 8: Korrelation des mikroradiographisch gemessenen Mineralverlustes für alle Proben (n = 80; Korrelationskoeffizient r nach Pearson; ** p ≤ 0,01)

Change	Change ₁	Change ₂	Change ₃	Change ₄	Change ₅
Change ₁	-	0,450**	0,701**	0,698**	0,658**
Change ₂	0,450**	-	0,440**	0,476**	0,479**
Change ₃	0,701**	0,440**	-	0,816**	0,847**
Change ₄	0,698**	0,476**	0,816**	-	0,818**
Change ₅	0,658**	0,479**	0,847**	0,818**	-

Tab. 9: Korrelation des profilometrisch gemessenen Mineralverlustes für alle Proben (n = 80; Korrelationskoeffizient r nach Pearson, * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01)

Stufe	Stufe ₁	Stufe ₂	Stufe ₃	Stufe ₄
Stufe ₁	-	0,041	0,297*	0,339**
Stufe ₂	0,041	-	0,110	-0,46
Stufe ₃	0,297*	0,110	-	0,405**
Stufe ₄	0,339**	-0,46	0,405**	-

4.5 Korrelation der beiden Messmethoden

In der nachfolgenden Tabelle sind die Korrelationskoeffizienten für die profilometrischen und mikroradiographischen Messungen aufgeführt. Wie aus der Tabelle 10 zu ersehen ist, zeigte sich eine geringe bis mittlere Korrelation der beiden Messmethoden bei Werten zwischen 0,069 und 0,604**. Der zweite Versuchstag (Change₂ und Stufe₂) weist eine überwiegend sehr geringe Korrelation zwischen LMR und Profilometrie auf.

Tab. 10: Korrelation des Mineralverlustes zwischen LMR und Profilometrie. (Korrelationskoeffizient r nach Pearson; n = 80; ** p ≤ 0,01)

	Stufe ₁	Stufe ₂	Stufe ₃	Stufe ₄
Change ₁	0,312**	0,069	0,349**	0,378**
Change ₂	0,128	0,075	0,282**	0,116
Change ₃	0,478**	0,125	0,604**	0,513**
Change ₄	0,429**	0,066	0,466**	0,408**
Change ₅	0,494**	0,135	0,432**	0,379**

4.6 Korrelation zwischen gemessener Probendicke und mikroradiographisch ermittelter Probendicke

Zu Beginn der Versuchsreihe wurden die hergestellten Proben unter Zuhilfenahme einer Mikrometerschraube gemessen. Die Werte (μm) entsprechen der metrisch ermittelten Probendicke. Des Weiteren kann mit der longitudinalen Mikroradiographie ebenfalls die anfängliche Probendicke in μm ausgedrückt werden (Basescan-Wert). Abbildung 10 zeigt die Pearson-Korrelation der beiden Messungen. Mit $r = 0,79^{**}$ erhält man eine hohe Korrelation ($p \leq 0,001$).

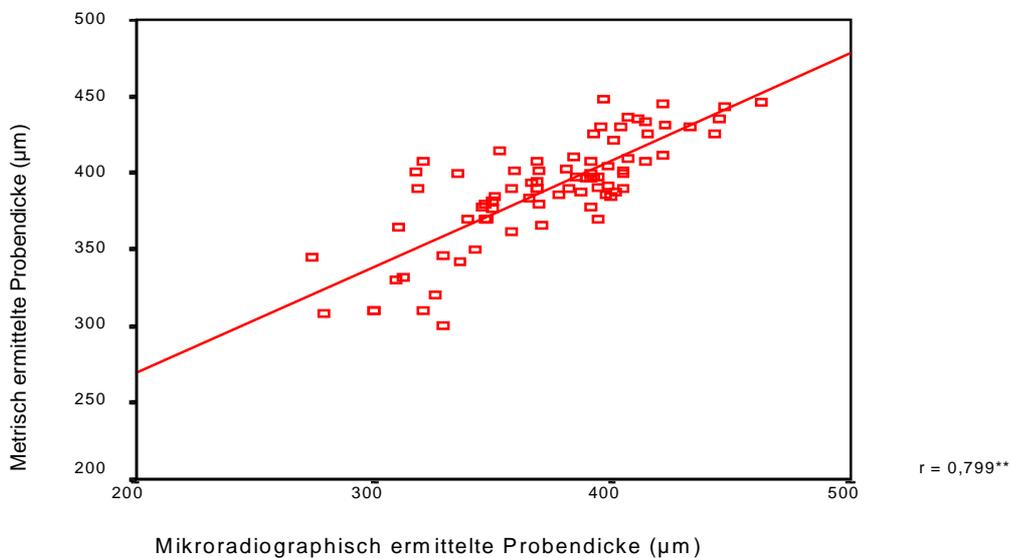


Abb. 10: Korrelation zwischen der mikroradiographisch ermittelten Probendicke und der metrisch gemessenen Probendicke.

5 Diskussion

5.1 Versuchsaufbau

5.1.1 Probenmaterial

Die Schmelzqualität der Zahnoberfläche kann sehr unterschiedlich sein. Nach dem Zahndurchbruch kommt es in Abhängigkeit von Alter und Lebensgewohnheiten zur Einlagerung von Kalzium, Phosphat und Fluorid und damit zu einer individuell unterschiedlichen Zusammensetzung des Zahnschmelzes. Da die Säurelöslichkeit des Schmelzes dadurch unterschiedlich sein kann, wurden in den vorliegenden Versuchen ausschließlich Schmelzproben von impaktierten Weisheitszähnen ohne postoperative Einflüsse verwendet. Darüber hinaus korreliert der erosiv bedingte Mineralverlust von verschiedenen Schmelzproben eines Zahnes relativ gut [Ganss et al., 2000], so dass vier Proben eines Zahnes jeweils longitudinal auf die vier Versuchsgruppen verteilt wurden.

Für beide Analysemethoden war es notwendig, plane Probenoberflächen zu erzeugen. Nach Meurman und Frank [1991a] zeigen bearbeitete Schmelzproben jedoch eine höhere Säurelöslichkeit als natürliche Schmelzproben. Auch Ganss et al. [2000] bestätigen, dass Proben mit natürlichen Oberflächen nach einer Säurebehandlung eine signifikant geringere Erosionstiefe aufweisen als Proben mit polierten Oberflächen. Dies ist durch die Abtragung des oberflächlichen prismenfreien Schmelzes zu erklären, der eine größere Resistenz gegenüber Säureeinwirkungen zeigt [Davis und Winter, 1980; Meurman und Frank, 1991a und b]. Allerdings kommt es gerade bei Patienten mit nicht kariesbedingten Zahnhartsubstanzverlusten aufgrund chemischer und physikalischer Einwirkungen ebenfalls zu einem Verlust der aprismatischen Schmelzoberfläche [Noack, 1989; Lussi et al., 1991]. Die Verwendung bearbeiteter Schmelzproben stellt somit eine Situation dar, wie sie klinisch bei Patienten mit häufigem Genuss erosiver Nahrungsmittel auftreten könnte.

Da jedoch in vivo nach einem säurebedingten Zahnhartsubstanzverlust auch wieder Remineralisierungsprozesse stattfinden, dürfte bei den verwendeten polierten Proben dennoch mit einem etwas größeren Substanzverlust zu rechnen sein.

5.1.2 Erosionserzeugung

Einer der wichtigsten Gründe für die Entstehung von Erosionen ist die häufige Einwirkung von Fruchtsäuren auf die Zahnhartgewebe [Davis und Winter, 1980; Grenby, 1990; Grobler et al., 1989; Lussi et al., 1991]. Die Zitronensäure gilt als die am häufigsten vorkommende Säure in Nahrungsmitteln. Sie kommt sowohl in frischen wie auch in verarbeiteten Früchten und zahlreichen Limonaden, Obstsaften und Erfrischungsgetränken vor. Schweitzer-Hirt et al. [1978] nennen Grapefruits, Orangen, Tomaten, Ananas, Mangofrüchte und Pflaumen als Obstsorten mit relativ hohem Zitronensäuregehalt. Darüber hinaus wurde bereits mehrfach belegt, dass Zitronensäure im Vergleich zu anderen Fruchtsäuren stärkere Schmelzdemineralisationen hervorruft [Meurman et al., 1987; Meurman und Frank, 1991a]. Neben der demineralisierenden Wirkung der H^+ -Ionen spielt dabei die Fähigkeit der Zitronensäure, Kalzium als Chelatkomplex zu binden, eine große Rolle.

In der Mehrzahl der bislang publizierten Studien wurden Erosionen durch Fruchtsäfte, Erfrischungsgetränke oder direkt mit Früchten erzeugt [Miller, 1951; Holloway et al., 1958; Stephan, 1966; Reussner et al., 1975; Schweizer-Hirt et al., 1978; Grenby, 1990; Grobler et al., 1990; Meurman et al., 1990b]. Jedoch enthalten die unterschiedlichen Getränke oder Früchte nicht nur Fruchtsäuren, sondern außerdem oft noch andere Bestandteile wie Kalzium, Phosphat, Proteine oder Fluoride, die unkontrollierbare Wechselwirkungen mit dem Zahnschmelz oder auch der Säure eingehen können. Die Bewertung der Ergebnisse gestaltet sich hierbei als schwierig.

Um eine Standardisierung der Ergebnisse zu erreichen und um eine repräsentative Säure zu verwenden, fiel daher unsere Wahl auf reine Zitronensäure.

Die erosive Demineralisierung erfolgte sechsmal pro Tag und sollte damit drei Haupt- und drei Zwischenmahlzeiten entsprechen. Die verwendeten Zeiten simulierten eine Situation, wie sie bei besonderen Ernährungsgewohnheiten durchaus vorkommen kann. So wurde bei Rohköstlern im Rahmen einer klinischen Studie eine mittlere Häufigkeit der Aufnahme von Früchten von über fünf mal pro Tag festgestellt, das Maximum lag dabei sogar bei bis zu 16 mal pro Tag [Ganss et al., 1999].

Meurman et al. [1990a] konnten zeigen, dass eine 5-minütige Einwirkzeit eines sauren Getränkes zu einer messbaren Erweichung von Zahnschmelz führt, während kürzere Einwirkzeiten keine signifikanten Härteveränderungen bewirken. Gewöhnlich neutralisiert sich der pH-Wert der Mundflüssigkeiten nach ein bis drei Minuten nach Aufnahme eines sauren Getränkes [Imfeld, 1983; Meurman et al., 1987]. Manchmal kann aber der saure pH-Wert auch vier bis zehn Minuten in der Mundhöhle anhalten [Imfeld, 1983]. In Anlehnung daran wurde in diesen Versuchen eine Säureapplikationszeit von fünf Minuten ausgewählt, die einerseits die Aufnahmezeit der sauren Nahrungsmittel und andererseits den Zeitraum bis zur vollständigen Neutralisation berücksichtigte. Der in vivo vorhandene, abschwächende Effekt der erosiven Wirkung saurer Substanzen durch die Pufferkapazität und Verdünnungseffekte des Speichels sowie freigesetzte Kalzium- und Phosphationen blieben bei der gewählten Versuchsanordnung unberücksichtigt.

5.1.3 Messmethoden

Um den Mineralgehalt von Zahnhartsubstanzen im Allgemeinen und den erosiven Mineralverlust im Speziellen zu untersuchen, wurde eine Vielzahl von Methoden verwendet [Grenby, 1996]. Die verschiedenen Analysemethoden lassen sich generell in destruktive und nicht destruktive Verfahren einteilen [de Josselin de Jong et al., 1985]. Die nicht destruktiven Analyseverfahren erlauben im Gegensatz zu den destruktiven Verfahren eine Weiterverwertung des zu untersuchenden Materials nach einer Messung. Wenn auch aufgrund der Vielzahl der Fragestellungen nicht ein bestimmtes Verfahren als Methode der Wahl angesehen werden kann, so können dennoch generelle Anforderungen an Methoden, die im Rahmen von experimentellen Studien zur De- und Remineralisation von Zahnhartgeweben verwendet werden, gestellt werden.

So sollten diese Methoden sowohl für in vitro Studien wie auch für die anschließende Bestätigung in situ anwendbar sein. Eine Analysemethode sollte sequenzielle Messungen (nicht destruktiv) erlauben und außerdem die Quantifizierung sowohl von Mineralverlusten wie auch von Mineralgewinnen zulassen. Die Beurteilung von natürlichen bzw. nicht vorbehandelten Schmelzoberflächen sollte darüber hinaus ebenfalls möglich sein.

Zur Beschreibung von säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten sind bislang überwiegend Mikrohärtmessungen verwendet worden [Gedalia et al., 1991; Lussi et al., 1993; Attin et al., 1997b; Lussi et al., 1997; Maupome et al., 1999]. Mikrohärtmessungen werden beispielsweise mit einem Knoop-Diamanten durchgeführt. Dabei wird die Diamantspitze in definierter Zeit mit einer definierten Kraft auf die Schmelzoberfläche gedrückt, wodurch längliche Impressionen erzeugt werden. Die Länge dieser Eindrücke spiegelt die physikalischen Veränderungen der Schmelzoberfläche nach einer erosiven Demineralisierung wieder, die in einer Erweichung aufgrund einer partiellen Demineralisation bestehen. Mit zunehmender Säureeinwirkung

erreicht die Mikrohärtetechnik minimale Werte, während die Auflösung des Minerals aber weiterhin fortschreitet [Stösser und Nekrashevych, 1998]. Deswegen ist diese Methode nur für die Beurteilung eines initialen Mineralverlustes geeignet. Eine Quantifizierung eines Mineralverlustes oder einer Mineralaufnahme ist darüber hinaus mit dieser Methode nicht möglich.

Optische Methoden wie die digitale Bildanalyse [Mistry und Grenby, 1993] oder Messungen mit Hilfe des Elektronenmikroskops [Meurman und Frank, 1991b; Grando et al., 1996; Hannig und Balz, 1999] wurden nur von wenigen Arbeitsgruppen in Bezug auf Erosionen angewandt. Die digitale Bildanalyse wurde von Mistry und Grenby [1993] als eine Methode zur Analyse von klinischen erosiven Läsionen beschrieben und ist dadurch für klinische Folgestudien oder im Tierexperiment gut geeignet, jedoch kann der Mineralgehalt der Zahnhartsubstanzen nicht beurteilt oder quantifiziert werden. Die elektronenmikroskopische Messung erlaubt die qualitative wie auch quantitative Beurteilung von makro- und mikromorphologischen Veränderungen der Zahnoberfläche. Sie kann sowohl *in vitro* wie auch *in situ* verwendet werden. Jedoch stellt die Messung mit dem Elektronenmikroskop eine destruktive Methode dar, bei der die Untersuchung von Mineralveränderungen schwierig ist.

Weiterhin kamen chemische Methoden zur Bestimmung von gelöstem Kalzium oder Phosphor im erosiven Medium zur Anwendung [Meurman et al., 1990b]. In Lösung gegangenes Kalzium wird gewöhnlich mit der Atomabsorptions-Spektroskopie bestimmt. Sie stellt eine zuverlässige und sehr genaue Technik zur Bestimmung von Kalziumkonzentrationen dar [Grenby, 1990; Meurman et al., 1990b]. Gelöstes Phosphor kann durch verschiedene absorptionsmetrische Techniken gemessen werden. Bei der Technik von Allen [1940] ist die Intensität der blauen Farbe von dauerhaft reduziertem Phosphormolybdatkomplex proportional zu der Konzentration von Phosphor. Gerade kleine Mineralverluste können mit dieser sensiblen Methode gut

gemessen werden. Diese Art der Untersuchung ist allerdings nur in vitro anzuwenden.

Für die Bestimmung der erosiven Mineralveränderungen wurden in der vorliegenden Studie die longitudinale Mikroradiographie (LMR) wie auch die Profilometrie verwendet. Beide Methoden erfüllen die Voraussetzung für nicht destruktive Analysen und erlauben dadurch sequenzielle Messungen. Im Gegensatz zu der bereits etablierten Profilometrie sind mit der LMR nicht nur Mineralverluste, sondern auch Mineralgewinne zu erfassen, außerdem kann bei beliebig oft wiederholten Messungen desselben Probenareals der Gesamtmineralgehalt einer Probe bestimmt werden. Da die LMR bislang noch nicht zur Quantifizierung von erosiv bedingtem Mineralverlust verwendet worden ist, sollte die Methode mit der Profilometrie verglichen werden. Im Folgenden soll auf diese beiden Verfahren näher eingegangen werden.

Mikroradiographische Messungen wurden bislang hauptsächlich in der Kariologie angewendet [Arends und ten Bosch, 1992]. Die transversale Mikroradiographie (TMR) vermag den Mineralgehalt bei pseudointakter Oberfläche als Funktion der Tiefe darzustellen und ist deshalb in diesem Zusammenhang die Methode der Wahl. Da es bei einer erosiven Demineralisation jedoch zu einem zentripetalen Mineralverlust ohne die Ausbildung einer Deckschicht kommt, ist die TMR zur Beurteilung eines erosiven Mineralverlustes nicht geeignet. Dies führte zu einer Weiterentwicklung der TMR. Dabei wurde der Mineralverlust und die Läsionstiefe durch die Verwendung einer Zwei-Schritt-Bild-Analyse quantifiziert. Im ersten Schritt wurde das Niveau der intakten Schmelzoberfläche beurteilt und anschließend in einem zweiten Schritt in die Region der erosiven Demineralisation übertragen, so dass der gesamte Mineralverlust berechnet werden kann [Amaechi et al., 1998a]. Allerdings lässt diese Modifikation keine wiederholten Messungen derselben Probe zu.

Mit einer anderen Modifikation der TMR, die von Hall et al. [1997] beschrieben wurde, war es möglich, wiederholte Messungen an derselben Probe durchzuführen. Dabei wurden bereits vor dem Versuch transversale Schnitte hergestellt. Diese Schnitte wurden so abgedeckt, dass in der Mitte ein Versuchsareal exponiert blieb. Nach der erosiven Demineralisation wurde der Schnitt im rechten Winkel zum erodierten Bereich abgescannt. Aus dem resultierenden Mineralprofil konnte der Mineralverlust und die maximale Tiefe der erosiven Läsion berechnet werden [Hall et al., 1999]. Diese Technik ist zerstörungsfrei, allerdings ist die Handhabung dünner Schnitte besonders bei in situ Versuchen sehr schwierig.

Die in der vorliegenden Studie angewandte longitudinale Mikroradiographie [de Josselin de Jong et al., 1988] kommt der zuletzt beschriebenen Modifikation am nächsten. Für diese Messmethode werden etwa 400 µm dicke longitudinale Schnitte verwendet, auf denen ein definiertes Areal auf einer Probe wiederholt analysiert werden kann. Veränderungen des Mineralgehaltes werden als Differenz zu einem Baseline-Wert berechnet, so dass sowohl Mineralverluste als auch -gewinne gemessen werden können. Der Messfehler resultiert aus der Fokusgröße des Röntgenapparates, dem Abstand des Fokus zur Filmebene, dem Auflösungsvermögen des verwendeten mikroradiographischen Filmes und aus der Spaltbreite des Densitometers am Mikroskop [de Josselin de Jong, 1985]. Die Fokusgröße bestimmt, zusammen mit der Ausrichtung des Objekts zum Film, die Projektionsunschärfe. Bei Verwendung einer möglichst kleinen Fokusgröße von 2 mm Durchmesser und einer fokusfernen Lage des Objektes von 340 mm (Fokus-Objekt-Abstand) bzw. einer möglichst filmnahen Objektlage von 0,3 mm (Film-Objekt-Abstand) beträgt die Fokusunschärfe etwa 2 µm. Die Bildunschärfe, die durch das Auflösungsvermögen des Filmes bestimmt wird, liegt bei 0,8 µm [de Josselin de Jong, 1985]. Daneben spielt die Spaltbreite des Densitometers bei der Auswertung der Mikroradiogramme eine Rolle. Liegt die Längsseite des Densitometerschlitzes bei einer Breite von 1 µm

parallel zur Schmelzoberfläche, so beträgt die Unschärfe 1 μm [de Josselin de Jong, 1985].

Weiterhin kommt es neben diesen unvermeidbaren Faktoren durch die Streuung der Röntgenstrahlen am Objekt bzw. an der Umgebung zu einer unkontrollierten Belichtung des Filmes. Jedoch beträgt der Massenstreuungskoeffizient für Zahnhartgewebe weniger als 1% des Massenschwächungskoeffizienten und kann deshalb vernachlässigt werden. Insgesamt kann der Fehler bei der Bestimmung des Mineralgehaltes einer Probe nach de Josselin de Jong [1987] bei $\pm 4 \mu\text{m}$ liegen. Diese Schwankungsbreite konnte bei der Überprüfung unseres Systems gut reproduziert werden. Bei der Projektion derselben Probe auf verschiedene Filme lag der niedrigste Wert bei 398 μm und der höchste Wert bei 402 μm . Die wiederholte Aufnahme derselben Schmelzprobe auf einen Film ergab bei einer Standardabweichung von 1,7 μm Werte zwischen 393 μm und 400 μm . Bei der wiederholten Auswertung desselben Scans lagen die Werte zwischen 395 μm und 400 μm bei einer Standardabweichung von 1,8 μm . Diese Werte sind bei Probendicken um 400 μm als sehr gering anzusehen. Bezogen auf die klinische Situation sind Mineralverluste in der Größenordnung von 10 μm jedoch eher schon als hoch einzustufen. Hier liegt vielleicht ein Nachteil der Methode, weil entweder eine im Vergleich zur in vivo Situation überdimensioniert lange Demineralisationszeit oder eine lange Versuchsdauer erforderlich wird.

Andere Autoren haben die Profilometrie zur Beurteilung des erosiven Mineralverlustes verwendet [Attin et al., 1998; Rugg-Gunn et al., 1998; West et al., 1998; Ganss et al., 2000]. Profilometrische Messungen erfassen die räumliche Struktur von Oberflächen, wobei Veränderungen in der Oberflächengeometrie bis unter 1 μm erfasst werden können [Zhang et al., 2000]. Bei der Beurteilung eines erosiv bedingten Substanzverlustes hängt die Genauigkeit der Messungen jedoch weniger von der Empfindlichkeit des Tasters als von der Genauigkeit der Reidentifikation der Referenzpunkte ab.

Zusätzlich werden die Messergebnisse auch durch die Einstellung der Messparameter und durch die Auswahl des Tasters beeinflusst. Allgemein muss man bei profilometrischen Messungen bedenken, dass immer verschiedene Probenareale gemessen werden und nur oberflächliche Substanzverluste bestimmt werden können. Eine etwaige Remineralisierung teilweiser demineralisierter Areale, wie sie mit der LMR erfasst werden kann, bleibt bei den profilometrischen Messungen unberücksichtigt. Weiterhin ist die genaue Repositionierung des Tasters und damit das genaue Nachfahren einer Spur bei wiederholten Messungen nicht möglich. Dementsprechend fanden sich bei der wiederholten Abtastung derselben Kante eines Versuchsfeldes Abweichungen bis zu 5 μm bei einer Standardabweichung von unter 1,9 μm . Gravierender dagegen waren die Unterschiede zwischen den vier Kanten des Versuchsfeldes (bis zu 7 μm), die sich aus dem unterschiedlichen Demineralisationsverhalten verschiedener Schmelzareale und Imperfektionen der außerhalb des Versuchsfeldes liegenden Referenzebene erklären.

In der Literatur wird der erosive Substanzverlust bei der Profilometrie entweder durch zwei einzelne Fixpunkte [Rugg-Gunn et al., 1998; West et al., 1998] oder als maximale Tiefe eines erodierten Areals in Relation zu der Referenzebene [Rytömaa et al., 1988] bestimmt. Bei diesem Vorgehen kann der Substanzverlust besonders bei rauhen oder unregelmäßig erodierten Probenoberflächen über- oder unterschätzt werden. Bei sehr tiefen Erosionen kann diese Überlegung zwar vernachlässigt werden, bei sehr geringem Substanzverlust gewinnt dieser Aspekt jedoch an Bedeutung. Diese beiden Methoden sind jedoch aus oben genannten Gründen außerdem nur für plane Oberflächen geeignet und schließen damit die Verwendung von natürlichen Proben aus. Andere Autoren definieren den Substanzverlust als durchschnittliche Tiefe des Versuchsfeldes [Attin et al., 1998] oder als Fläche über oder unter einer Kurve [Hall et al., 1997]. Der Substanzverlust lässt sich hierbei genauer beurteilen. Um die profilometrischen Messungen verschiedener Studien miteinander zu

vergleichen, bedarf es aber einer Standardisierung der verwendeten Parameter. Allgemein stellt die Profilometrie eine geeignete und vielfach verwendete Methode dar, um Substanzverluste sowohl von polierten wie auch von natürlichen Proben zu beurteilen.

Im vorliegenden Versuch lagen die mikroradiographisch gemessenen Werte insgesamt sehr gut im Bereich der profilometrisch ermittelten Werte. Während sich die Werte nach den ersten beiden Versuchstagen nur um wenige Mikrometer unterschieden, zeigte sich jedoch nach dem vierten Versuchstag bei den mikroradiographischen Messungen ein etwa 10 μm größerer Mineralverlust. Dies erklärt sich dadurch, dass mit der Mikroradiographie auch ein teilweiser Mineralverlust gemessen werden kann, der profilometrisch nicht erfasst wird.

Die Korrelation der Werte war dagegen nur gering. Dies erklärt sich zum Teil dadurch, dass bei beiden Verfahren unterschiedliche Probenareale beurteilt wurden. Während mikroradiographisch immer wieder dasselbe Probenareal untersucht werden konnte, wurden die profilometrischen Messungen nach den vier Versuchstagen an jeweils einer anderen Kante des Versuchsfeldes gemessen. Der Mineralgehalt des Schmelzes ist jedoch nicht homogen. So nimmt die Schmelzdichte von der Zahnoberfläche ins Zahninnere ab, ebenso sinkt die Kalziumkonzentration vom koronalen Anteil des Zahnes in Richtung Dentin. Der Kalziumgehalt innerhalb des Schmelzes kann um 30-40% variieren [Weatherell und Robinson, 1973]. Der Mineralgehalt allgemein variiert zwischen 77-99%, wobei im Zahnhalsbereich die geringste Mineralisation vorherrscht [Theuns et al., 1983]. Aus diesem Grunde kann sich der Mineralgehalt und damit auch das Verhalten unter erosiven Bedingungen in Abhängigkeit von der Tiefe des Versuchsfeldes und dem Entnahmeort der Probe mehr oder weniger stark unterscheiden.

Dass mikroradiographisch und profilometrisch ermittelte Werte bei der Beurteilung desselben Probenareals und bei gleichem Auswertverfahren prinzipiell gut übereinstimmen können, konnte von Hall et al. [1997] gezeigt

werden. In dieser Studie wurden Profilschriebe und mikroradiographische Scans von einer Referenzfläche auf ein erodiertes Versuchsfeld und wieder auf eine Referenzfläche gefahren und die resultierenden Profilschriebe mit derselben Software ausgewertet. Der Substanzverlust wurde dabei als Fläche über der Kurve bestimmt. Dabei ergaben sich Korrelationskoeffizienten zwischen 0,87 und 0,94.

Mit der longitudinalen Mikroradiographie und der Profilometrie stehen zwei Verfahren zur Verfügung, die vergleichbare Ergebnisse liefern können. Während die longitudinale Mikroradiographie für De- und Remineralisationsstudien die Methode der Wahl ist, ist die Profilometrie für chemisch / physikalische Versuche (z. B. bei Bürstabrasionen erodierter Zahnoberflächen) besser geeignet.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Nach dem ersten Versuchstag konnte bei allen Schmelzproben ein bereits makroskopisch sichtbarer Mineralverlust beobachtet werden, wobei nach Abschluss der 5-tägigen Versuche in allen Versuchsgruppen ein relativ linearer Abtrag an Zahnhartsubstanz zu verzeichnen war.

Nach dem vierten Versuchstag betragen die mit der LMR ermittelten Werte für den erosiven Substanzverlust in der Kontrollgruppe (Gruppe I) $73,3 \pm 13,3$ μm , in Gruppe II (Gel und Zahnpasta) $78,5 \pm 13,3$ μm , in Gruppe III (Zahnpasta) $73,3 \pm 9,9$ μm und in Gruppe IV (Zahnpasta und Milch) $56,4 \pm 14,2$ μm . Die profilometrisch ermittelten Werte waren in der Kontrollgruppe $58,4 \pm 8,9$ μm , in Gruppe II $62,3 \pm 7,2$ μm , in Gruppe III $62,9 \pm 5,9$ μm und schließlich in Gruppe IV $49,4 \pm 8,6$ μm .

Während sowohl niedrig dosierte Gaben von Fluorid wie auch eine hoch konzentrierte Einmalgabe von Fluorid keinen signifikanten Effekt auf den Mineralverlust hatte, war der Substanzverlust nach Milchapplikation am Ende

der Versuchsreihe im Vergleich mit der Kontrollgruppe signifikant um 17% verringert.

Bislang sind nur wenige Studien zur Effektivität von lokalen Fluoridapplikationen publiziert. Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen konnte jedoch eine, wenn auch geringe, Fluoridwirkung nachgewiesen werden.

So konnte beispielsweise die Erweichung des Schmelzes nach hoch dosierter Applikation von Fluorid nach Einwirkung eines Cola-Getränks etwa um 50% vermindert werden [Sorvari et al., 1994]. Allerdings handelt es sich hier um eine Fluoridierungsmaßnahme ohne klinische Relevanz, da Einwirkzeiten von 24 bzw. 48 Stunden in situ nicht erreicht werden können.

Mikrohärtemessungen erlauben jedoch keine Aussage über den Gesamtmineralverlust. Quantitative Studien haben nämlich gezeigt, dass der erosiv bedingte Mineralverlust in vitro nur bedingt durch Fluorid beeinflusst werden kann. So konnte der Mineralverlust durch eine einmalige erosive Demineralisation (frischer Orangensaft oder EDTA für jeweils 10 Minuten) nach Applikation einer fluoridhaltigen Zahnpaste nur um 32 bzw. 17% verringert werden [Davis und Winter, 1977]. Ähnliche Resultate zeigten sich nach einem in vitro Versuch mit De- und Remineralisationszyklen über einen Versuchszeitraum von einer Woche. Menschliche Schmelzproben wurden mit 0,05 molarer Zitronensäure erodiert, zwischen den Demineralisationsphasen in einer Remineralisationslösung aufbewahrt und mit zwei verschiedenen Fluoridierungsmaßnahmen behandelt. Am Ende des Versuchs zeigte sich, dass der Mineralverlust durch eine Fluoridzahnpasta um 10% und nach einer Intensivfluoridierung mit Fluoridgel und Mundspüllösung um 20% verringert werden konnte [Ganss et al., 2001].

Insgesamt besteht bislang Unklarheit darüber, ob Fluoridierungsmaßnahmen im Zusammenhang mit einem erosiv bedingten Mineralverlust ausreichend wirksam und welche Fluoridierungsformen am besten geeignet sind.

Initialkaries und Erosionen unterscheiden sich in ihrer Pathogenese. Deshalb kommen Fluoride möglicherweise auch in unterschiedlicher Weise zur Wirkung. Die Kariesläsion entsteht durch eine stufenweise Demineralisation unterhalb der Schmelzoberfläche (subsurface lesion) mit einer 20-50 µm dicken intakten Oberflächenschicht, so dass remineralisierbare Strukturen vorhanden sind [Imfeld, 1996a]. Bei Erosionen dagegen steht ein zentripetaler Substanzverlust durch die Einwirkung stärkerer Säuren ohne eine mit der Initialkaries vergleichbare „subsurface lesion“ im Vordergrund, so dass keine Strukturen mehr für die Remineralisation zur Verfügung stehen. Die erodierte Schmelzoberfläche zeigt dabei nur eine leichte Demineralisation der äußersten Schmelzschicht [Meurman et al., 1990b], die möglicherweise remineralisiert werden kann [Imfeld, 1996b]. Die Fluoridwirkung kann dabei nur in der Präzipitation CaF₂-ähnlicher Niederschläge bestehen.

Die meisten Erkenntnisse über CaF₂-ähnliche Niederschläge auf der Zahnoberfläche resultieren aus Studien, in denen hohe Fluoridkonzentrationen (Behandlungen mit Gelen oder Lacken) mit relativ langen Einwirkzeiten verwendet wurden [Nelson et al., 1983; Cruz et al., 1992; Cruz und Rølla, 1992; Duschner et al., 1997]. Jedoch werden auch CaF₂-ähnliche Ablagerungen nach kürzeren Fluoridbehandlungen mit geringen Konzentrationen an Fluorid (wie sie z.B. beim Zähneputzen oder bei Mundspülungen auftreten) beobachtet [Petzold, 2001].

Bei einer lokalen Fluoridbehandlung bilden sich auf der Schmelzoberfläche globuliartige Präzipitate aus CaF₂-ähnlichem Material. Die Präzipitate weisen dabei eine polykristalline Mikrostruktur auf, wobei die Korngrößen der Globuli zwischen 2 und 20 nm betragen können. In das CaF₂-Gitter sind außerdem Anteile von Phosphor und Sauerstoff eingebaut.

Die Präzipitation solcher Deckschichten hängt von Faktoren wie Löslichkeit des Zahnes, Expositionszeit, Fluoridkonzentration und pH-Wert des Fluoridpräparates ab [Larsen und Jensen, 1986; Saxegaard und Rølla, 1988; Cruz und Rølla, 1992; Larsen und Brunn, 1994; Øgaard, 2001; Petzold,

2001]. Dabei scheint besonders die Verfügbarkeit von Kalziumionen eine wichtige Rolle zu spielen. So können nach der Verwendung von sauren Fluoridpräparaten, der Vorbehandlung des Schmelzes mit Säuren oder einer Kalziumchlorid-Lösung in der Regel bei gleicher Fluoridkonzentration größere Mengen an CaF_2 -ähnlichem Fluorid beobachtet werden [Saxegaard und Rølla, 1988]

Petzold [2001] konnte zeigen, dass es nach der Applikation einer 0,1%igen NaF- oder Aminfluoridlösung bei pH 4,5 bereits nach wenigen Sekunden zum Niederschlag der ersten Globuli und nach 60 Sekunden zu einer dichten Ansammlung von Präzipitaten kommt. Nach 2 Minuten ist eine kontinuierliche CaF_2 -ähnliche Deckschicht nachweisbar. Bei der Aminfluoridlösung mit neutralem pH-Wert sind dagegen erst nach zwei und bei der NaF-Lösung sogar erst nach 60 Minuten einzelne Globuli zu erkennen. Letzteres ist allerdings nur schwer mit den Ergebnissen der oben zitierten in vitro Studien zur Fluoridwirkung in Einklang zu bringen, da trotz der Verwendung einer NaF-Zahnpaste mit neutralem pH-Wert ein protektiver Effekt zu beobachten war. Möglicherweise kann damit aber zumindest zum Teil der ausbleibende Fluorideffekt in der vorliegenden Studie erklärt werden.

Über die Stabilität von CaF_2 -ähnlichen Ablagerungen auf dem Zahnschmelz unter erosiven Bedingungen ist wenig bekannt. Die therapeutische Fluoridwirkung wäre dann möglicherweise begrenzt, wenn der pH-Wert so niedrig wird, dass auch CaF_2 -ähnliches Fluorid gelöst wird bzw. der Speichel in Bezug auf Kalzium und Phosphat untersättigt ist [McIntyre, 1992; Meurman und ten Cate, 1996], wodurch theoretisch eine kontinuierliche Auflösung von Schmelzapatit bei niedrigem pH-Wert aufrecht erhalten werden könnte [Larsen und Nyvad, 1999]. Dabei liegt der kritische pH-Wert bei 4,5-5 [Rølla et al., 1993].

In einer in vitro Untersuchung von Klimek et al. [2000] wird auf die Stabilität der CaF_2 -Deckschicht unter erosiven Bedingungen näher eingegangen. Schmelzproben wurden bei Versuchsbeginn für drei Minuten mit einer

Aminfluoridlösung behandelt und dreimal täglich für 30 Sekunden mit einem sauren Getränk (pH-Wert 2,8) erodiert. Direkt nach der Fluoridierung betrug die Menge an CaF_2 -ähnlichem Fluorid $96,0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, nach zwei Tagen $10,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und nach vier Tagen $6,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, während unter neutralen Bedingungen nach vier Tagen noch $18,6 \pm 10,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ vorhanden waren. Somit kann CaF_2 -ähnliches Fluorid in vitro unter erosiven Bedingungen relativ schnell verloren gehen, was den in der oben zitierten Studie von Ganss et al. [2001] nachgewiesenen geringen Fluorideffekt erklären kann. Dabei entsprach die Verringerung des Mineralverlustes etwa der Dicke einer solchen CaF_2 -ähnlichen Deckschicht, die als Mineralzugewinn erst in Lösung geht, bevor die darunterliegende Schmelzoberfläche weiter erodiert wird.

In situ dagegen kann eine CaF_2 -Deckschicht durch Anlagerung von Speichelbestandteilen stabilisiert werden. In einem in situ Versuch wurden Schmelzproben vor Versuchsbeginn für drei Minuten mit einer Aminfluoridlösung fluoridiert und intraoral dreimal täglich für zwei Minuten Erosionen mit einem sauren Getränk (pH-Wert 2,8) erzeugt. Die Menge an KOH-löslichem Fluorid lag direkt nach der Fluoridierung bei $77,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, nach drei Tagen unter erosiven Bedingungen in situ bei $66,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und nach sieben Tagen bei $54,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und unter neutralen Bedingungen bei $45,3 \pm 12,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ [Ganss et al., unveröffentlichte Daten].

Die beiden Versuche zeigen, dass die Löslichkeit CaF_2 -ähnlicher Deckschichten sowohl unter sauren als auch unter neutralen Bedingungen von einer Reihe von Faktoren abhängig ist. Dabei spielen neben organischen Speichelbestandteilen vor allem Phosphate eine Rolle. So kann Phosphat bereits bei relativ geringen Konzentrationen die Freisetzung von Fluorid aus Kalziumfluorid deutlich verringern [Christoffersen et al., 1988], was wahrscheinlich mit der Adsorption von Phosphationen in Form von HPO_4^{2-} erklärt werden kann [Chander et al., 1982; Lagerlöf et al., 1988]. Bei CaF_2 -ähnlichen Deckschichten ist dieser Effekt, wenn auch in geringerem Maße ebenfalls nachgewiesen worden [Christoffersen et al., 1988]. Da im vorliegenden Versuch keine phosphathaltige remineralisierende Lösung

verwendet wurde, könnte die fehlende Fluoridwirkung mit der in Abwesenheit von Phosphat geringeren Stabilität der CaF_2 -ähnlichen Deckschichten im Verbund mit deren guter Säurelöslichkeit erklärt werden.

Aus den Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, dass Versuche zur Therapie von erosiv bedingtem Mineralverlust mit Fluorid immer in Verbindung mit kalzium- und phosphathaltigen Lösungen, wahrscheinlich jedoch am besten als in situ Versuche durchgeführt werden sollten.

Wenn auch im vorliegenden Versuch kein Effekt der lokalen Fluoridierung gezeigt werden konnte, ermutigen die Resultate zur Stabilität von CaF_2 -ähnlichen Deckschichten in situ doch zu weiteren Untersuchungen.

Einfluss der Milch auf den erosiven Mineralverlust

Die Applikation von Milch führte im Vergleich mit den anderen Versuchsgruppen zu einem geringeren Mineralverlust. Die Beziehung zwischen Milchprodukten und Karies wurde schon vor Jahren diskutiert [Weiss und Bibby, 1966; McDougall, 1977; Heiferman et al., 1981; Dever et al., 1987]. Milch enthält nicht nur Fett, Proteine oder Laktose sondern ebenfalls Kalzium und Phosphat und ist gerade deswegen im Hinblick auf den Zahnschmelz interessant. So konnten Weiss und Bibby [1966] zeigen, dass das Einlegen von Schmelzproben in Milch deren Löslichkeit um 20% reduziert. Auch Gedalia et al. [1991] stellten eine Zunahme der Mikrohärtigkeit in zuvor mit Cola-Getränken erweichten Schmelzproben fest, welche zusätzlich mit Milch behandelt wurden. In der vorliegenden Studie konnte auch eine protektive Wirkung der Milch bei Erosionen festgestellt werden. Der Effekt der Milch lässt sich nur schwer erklären, da die Milch verschiedene Inhaltsstoffe enthält. Manche Autoren gehen davon aus, dass die adsorbierten Milchproteine und Milchfette der Demineralisierung des Zahnschmelzes entgegen wirken [Weiss und Bibby, 1966; McDougall, 1977; Heiferman et al., 1981]. Gedalia et al. [1991] konnten in diesem Zusammenhang zeigen, dass die wieder erhärtete Schmelzoberfläche mit einer Schicht aus organischen Bestandteilen der Milch bedeckt war. Auch der Gehalt an Kalzium bzw.

Kalziumphosphat in der Milch wird als Faktor für die Remineralisation diskutiert [McDougall, 1977; Dever et al., 1987]. Der hohe Phosphatgehalt der Milch könnte wie oben diskutiert zu einer Stabilisierung der CaF_2 -ähnlichen Deckschichten geführt haben. Da jedoch nur ein relativ kleiner Anteil des Kalziums in der Milch als freie Ionen verfügbar ist [Holt et al., 1981], könnte der Kalziumgehalt der Milch an Bedeutung verlieren. Es scheint, dass eher der Fettgehalt der Milch eine Art Schutzfilm auf der Schmelzoberfläche hinterlässt und daher eine gewisse Schutzfunktion besitzt. Um die genaue protektive Wirkung der Milch bei Erosionen zu analysieren, bedarf es weiterer Untersuchungen. Abschließend kann jedoch Patienten mit Erosionen das Trinken bzw. Spülen mit Milch nach dem Konsum von sauren Nahrungsmitteln empfohlen werden.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung des Einflusses verschiedener Fluoridierungsmaßnahmen auf die erosive Demineralisation menschlichen Zahnschmelzes in vitro. Zudem sollten die Ergebnisse der longitudinalen Mikroradiographie (LMR) mit denen der bereits etablierten Profilometrie verglichen werden.

Aus 20 operativ entfernten Weisheitszähnen wurden parallel zur Zahnoberfläche jeweils vier Schmelzproben mit einer Dicke von 400 µm hergestellt. Auf den planparallelen Proben wurde ein 2x2 mm großes Versuchsfeld mit Referenzbohrungen an den Ecken erzeugt. Die übrige Versuchsfläche wurde mit Nagellack abgedeckt. Vor Versuchsbeginn wurde der Mineralgehalt bei allen Proben mit der LMR ermittelt. Zur Erosionserzeugung diente eine 0,05 molare Zitronensäure mit einem pH-Wert von 2,3. Während der fünftägigen Versuchsdauer wurden die Proben in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt und für sechsmal fünf Minuten pro Tag erodiert, dabei sollten drei Haupt- und drei Zwischenmahlzeiten simuliert werden. Es wurden vier Versuchsgruppen festgelegt:

Gruppe I: Kontrollgruppe, keine Fluoridierung

Gruppe II: dreimal täglich fünf Minuten Fluoridzahnpaste, vor Versuchsbeginn einmal für fünf Minuten Fluoridgel

Gruppe III: dreimal täglich fünf Minuten Fluoridzahnpaste

Gruppe IV: dreimal täglich fünf Minuten Fluoridzahnpaste, dreimal täglich für fünf Minuten Milch

Am Ende jeden Versuchstages wurde der Mineralverlust bei allen Proben profilometrisch und mit der LMR bestimmt.

Der Mineralverlust war für alle Versuchsgruppen nahezu linear. In den ersten beiden Versuchstagen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Nach dem zweiten Versuchstag wies Gruppe IV verglichen mit den anderen Versuchsgruppen signifikant niedrigere Werte auf, nach dem vierten Versuchstag lag der Mineralverlust

etwa 17% niedriger als in den anderen Gruppen. Die mit der LMR ermittelten Werte betragen in der Kontrollgruppe $73,3 \pm 13,3 \mu\text{m}$, in Gruppe II $78,5 \pm 13,3 \mu\text{m}$, in Gruppe III $73,3 \pm 9,9 \mu\text{m}$ und in Gruppe IV $56,4 \pm 14,2 \mu\text{m}$. Die profilometrisch ermittelten Werte waren in der Kontrollgruppe $58,4 \pm 8,9 \mu\text{m}$, in Gruppe II $62,3 \pm 7,2 \mu\text{m}$, in Gruppe III $62,9 \pm 5,9 \mu\text{m}$ und schließlich in Gruppe IV $49,4 \pm 8,6 \mu\text{m}$. Weiterhin gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den Gruppen II und III. Die Resultate dieser Studie zeigen, dass eine niedrig konzentrierte Fluoridapplikation ohne eine Remineralisationslösung den erosiv bedingten Mineralverlust nicht signifikant beeinflussen kann.

Nach den ersten Versuchstagen ergaben die mikroradiographischen und die profilometrischen Messungen vergleichbare Werte, am Ende des Versuchs lagen die mikroradiographisch ermittelten Werte entsprechend der mit dieser Methode zusätzlich erfassten teilweisen Demineralisation etwa $10 \mu\text{m}$ höher als die profilometrisch gemessenen. Die ermittelten Werte der beiden Methoden korrelierten bei Koeffizienten zwischen 0,069 und 0,604 meist gering miteinander. Insgesamt hat die Studie außerdem gezeigt, dass die beiden Messmethoden vergleichbare Ergebnisse liefern.

7 Literaturverzeichnis

1. **Allen, R.J.L.:**
The estimation of phosphorus.
Biochem J 1940; 24: 858-864.
2. **Amaechi, B.T.; Higham, S.M.; Edgar, W.M.:**
Use of transverse microradiography to quantify mineral loss by erosion in bovine enamel.
Caries Res 1998a; 32: 351-356.
3. **Amaechi, B.T.; Higham, S.M.; Edgar, W.M.:**
The influence of xylitol and fluoride on dental erosion in vitro.
Arch Oral Biol 1998b; 43: 157-161.
4. **Arends, J.; ten Bosch, J.J.:**
Demineralisation and remineralisation evaluation techniques.
J Dent Res 1992; 71: 924-928.
5. **Attin, T.; Hilgers, R.D.; Hellwig, E.:**
Beeinflussung des erosionsbedingten Oberflächenverlustes von Zahnschmelz durch Fluorid.
Dtsch Zahnärztl Z 1997a; 52: 241-245.
6. **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 1997b; 42: 243-250.
7. **Attin, T.; Zirkel, C.; Hellwig, E.:**
Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions.
Caries Res 1998; 32: 344-350.
8. **Attin T.; Deifuss, H.; Hellwig, E.:**
Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel.
Caries Res 1999; 33: 135-139.
9. **Bevenius, J.; L'Éstrange, P.; Angmar-Mansson, B.:**
Erosion: guideline for the general practitioner.
Aust Dent J 1988; 33: 407-411.

10. **Boyes, J.; Hartles, R.L.; Slack, G.L.; Steel, J.; Stones, H.H.:**
Memorandum on the erosion of teeth.
Br Dent J 1959; 106: 239-242.
11. **Brady, J.M.; Woody, R.D.:**
Scanning microscopy of cervical erosion.
J Am Dent Assoc 1977; 94: 726-729.
12. **Brawdy, W.F.:**
The anorexia nervosa syndrome.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1980; 50: 509-516.
13. **Brickley, M.; Shepherd, J.P.:**
Alcoholic intoxication and dependence in adult dental out-patients.
J Dent Res 1989; 68: 591 (Abstr.).
14. **Chander, S.; Chiao, C.C.; Fuerstenau, D.W.:**
Transformation of calcium fluoride for caries prevention.
J Dent Res 1982; 61: 403-407.
15. **Chaudhry, S.I.; Harris, J.L.; Challacombe, S.J.:**
Dental erosion in a wine merchant: an occupational hazard ?
Br Dent J 1997; 182: 226-228.
16. **Christen, A.G.:**
Dentistry and the alcoholic patient.
Dent Clin North Am 1983; 27: 341-361.
17. **Christoffersen, J.; Christoffersen, M.R.; Kibalczyk, W.; Perdok, W.G.:**
Kinetics of dissolution and growth of calcium fluoride and effects of phosphate.
Acta Odontol Scand 1988; 46: 325-336.
18. **Cruz, R.; Øgaard, B.; Rølla, G.:**
Uptake of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in sound human enamel after topical application of a fluoride varnish (Duraphat).
Scand J Dent Res 1992; 100: 154-158.
19. **Cruz, R.; Rølla, G.:**
The effect of time of exposure on fluoride uptake by human enamel from acidulated fluoride solutions in vitro.
Acta Odont Scand 1992; 50: 51-56.

20. **Davis, W.B.; Winter, P.J.:**
Dietary erosion of adult dentine and enamel. Protection with a fluoride toothpaste.
Br Dent J 1977; 143: 116-119.
21. **Davis, W.B.; Winter, P.J.:**
The effect of abrasion on enamel and dentine after exposure to dietary acid.
Br Dent J 1980; 148: 253-256.
22. **De Josselin de Jong, E.; ten Bosch, J.J.:**
Measurements and optimization of the MTF's of the microradiographic method and its subsystems.
Comparison of methods in Caries research 1985; Chapt 2.
23. **De Josselin de Jong, E.; ten Bosch, J.J.; van der Linden, A.H.M.:**
Longitudinal microradiography, a new nondestructive quantitative method to follow mineral changes in mineralized tissue slice.
Comparison of methods in Caries research 1987; Chap 5.
24. **De Josselin de Jong, E.; van der Linden, A.H.I.M.; Borsboom, P.C.F.; ten Bosch, J.J.:**
Determination of mineral changes in human dental enamel by longitudinal microradiography and scanning optical monitoring and their correlation with chemical analysis.
Caries Res 1988; 22: 153-159.
25. **Dever, J.G.; Thomson, M.E.; Hampton, M.:**
Fruit juice and flavored milk effects on enamel in an intra-oral model.
NZ Dent J 1987; 83: 7-10.
26. **Duschner, H.; Götz, H.; Øgaard, B.:**
Fluoride-induced precipitates on enamel surface and subsurface areas visualized by electron microscopy and confocal laser scanning microscopy.
Eur J Oral Sci 1997; 105: 466-472.
27. **Eccles, J.D.:**
Dental erosion of nonindustrial origin. A clinical survey and classification.
J Prosthet Dent 1979; 42: 649-653.
28. **Eccles, J.D.:**
Erosion affecting the palatal surface of upper anterior teeth in young people.
Br Dent J 1982a; 152: 375-378.

29. **Eccles, J.D.:**
Tooth surface loss from abrasion, attrition and erosion.
Dent Update 1982b; 9: 373-381.
30. **Ganss, C.; Schlechtriemen, M.; Klimek, J.:**
Dental erosions in subjects living on a raw food diet.
Caries Res 1999; 33: 74-80.
31. **Ganss, C.; Klimek, J.; Schwarz, N.:**
A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralisation.
Arch Oral Biol 2000; 45: 897-902.
32. **Ganss, C.; Klimek, J.; Schäffer, U.; Spall, T.:**
Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro.
Caries Res 2001; 35: 325-330.
33. **Gedalia, I.; Anaise, J.; Westreich, V.; Fuks, A.:**
Predisposition to caries in hamsters following the erosive effect of a commercial citrus beverage administered with and without supplemental fluoride.
J Dent Res 1975; 54: 496-499.
34. **Gedalia, I.; Dakur, A.; Shapira, L.; Lewinstein, I.; Goultschin, J.; Rahamim, E.:**
Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva.
Am J Dent 1991; 4: 120-122.
35. **Gedalia, I.; Davidov, I.; Lewinstein, I.; Shapira, L.:**
Effect of hard cheese exposure, with or without fluoride prerinse, on the rehardening of softened human enamel.
Caries Res 1992; 26: 290-292.
36. **Grando, L.J.; Tames, D.R.; Cardoso, A.C.; Gabilan, N.H.:**
In vitro study of enamel erosion caused by soft drinks and lemon juice in deciduous teeth analysed by stereomicroscopy and scanning electron microscopy.
Caries Res 1996; 30: 373-378.
37. **Graubart, J.; Gedalia, I.; Pisanti, S.:**
Effects of fluoride pretreatment in vitro on human teeth exposed to citrus juice.
J Dent Res 1972; 51: 1677-1681.

38. **Grenby, T.H.:**
In-vitro-Experimente über die Auswirkungen von
Erfrischungsgetränken auf die Zahnhartsubstanz.
Oralprophylaxe 1990; 12: 103-113.
39. **Grenby, T.H.:**
Methods of assessing erosion and erosive potential.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 207-214.
40. **Grobler, S.R.; Senekal, P.J.C.; Kotze, T.J.V.W.:**
The degree of enamel erosion by five different kinds of fruit.
Clin Rev Dent 1989; 11: 23-28.
41. **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 1990; 12: 5-9.
42. **Hall, A.F.; Sadler, J.P.; Strang, R.; De Josselin de Jong, E.; Foye,
R.H.; Creanor, S.L.:**
Application of transverse mikroradiography for measurement of
mineral loss by acid erosion.
Adv Dent Res 1997; 11: 420-425.
43. **Hall, A.F.; Buchanan, C.A.; Millett, D.T.; Creanor, S.L.; Strang, R.;**
Foye, R.H.:
The effect of saliva on enamel and dentine erosion.
J Dent 1999; 27: 333-339.
44. **Hannig, M.; Albers, H.K.:**
Die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure an Zahnschmelz und
Dentin in vitro.
Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 298-302.
45. **Hannig, M.; Balz, M.:**
Influence of in vivo formed salivary pellicle on enamel erosion.
Caries Res 1999; 32: 372-379.
46. **Heifermann, A.; Gedalia, I.; Brayer, L.; Rajstein, J.:**
Absorption of milk fat on tooth enamel and the effect on debris
accumulation.
Israel J Dent Med 1981; 29: 61-63.
47. **Hellström, I.:**
Oral complications in anorexia nervosa.
Scand J Dent Res 1977; 85: 71-86.

48. **Hickel, R.:**
Schmelzschäden durch Säureeinwirkung.
Zahnärztl Mitt 1989; 79: 1298-1305.
49. **Holloway, P.J.; Mellanby, M.; Stewart, R.J.C.:**
Fruit drinks and tooth erosion.
Br Dent J 1958; 102: 305.
50. **Holt, C.; Dalglish, D.G.; Jenness, R.:**
Calculation of the ion equilibria in milk diffusate and comparison with experiment.
Anal Biochem 1981; 113: 154-163.
51. **Hotz, P.R.:**
Erosion des Zahnschmelzes.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 1987; 2: 219-222.
52. **Imfeld, T.:**
Identification of low caries risk dietary components.
Karger, Basel 1983; 165-174.
53. **Imfeld, T.:**
Prevention of progression of dental erosion by professional and individual prophylactic measures.
Eur J Oral Sci 1996a; 104: 215-220.
54. **Imfeld, T.:**
Dental erosion. Definition, classification and links.
Eur J Oral Sci 1996b; 104: 151-155.
55. **Jaeggi, T.; Lussi, A.:**
Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: An in situ study.
Caries Res 1999; 33: 455-461.
56. **Järvinen, V.; Meurman, J.H.; Hyvärinen, H.; Rytömaa I.; Murtomaa, H.:**
Dental erosion and upper gastrointestinal disorders.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988; 65: 298-303.
57. **Järvinen, V.K.; Rytömaa, I.; Heinonen, O.P.:**
Risk factors in dental erosion.
J Dent Res 1991; 70: 942-947.

58. **Klimek, J.; Ganss, C.; Hulvershorn, L.; Rudolph, L.:**
Loss of KOH-soluble fluoride on enamel and dentine under erosive conditions.
Caries Res 2000; 34: 344 (Abstr.).
59. **Lagerlöf, F.; Saxegaard, E.; Barkvoll, P.; Rølla, G.:**
Effects of inorganic orthophosphate and pyrophosphate on dissolution of calcium fluoride in water.
J Dent Res 1988; 67: 447-449.
60. **Larsen, M.J.; Jensen, S.J.:**
On the properties of fluoride solutions used for topical treatment and mouth rinse.
Caries Res 1986; 20: 56-64.
61. **Larsen, M.J.; Brunn, C.:**
Caries chemistry and fluoride – Mechanism of action.
In Thylstrup, A.; Fejerskov, O. (eds). Textbook of clinical cariology. Copenhagen, Munksgaard, 1994.
62. **Larsen, M. J.; Nyvad, B.:**
Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphat.
Caries Res 1999; 33: 81-87.
63. **Levine, R.S.:**
Fruit juice erosion – an increasing danger.
J Dent 1973; 2: 85-88.
64. **Linkosalo, E.; Markkanen, H.:**
Dental erosions in relation to lactovegetarian diet.
Scand J Dent Res 1985; 93: 436-441.
65. **Lussi, A.; Schaffner M.; Hotz, P.; Suter, P.:**
Dental erosion in a population of Swiss adults.
Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 286-290.
66. **Lussi, A.; Jäggi, T.; Schärer, S.:**
The influence of different factors on in vitro enamel erosion.
Caries Res 1993; 27: 387-393.
67. **Lussi, A.; Jaeggi T.; Jaeggi-Schärer, S.:**
Prediction of the erosive potential of some beverages.
Caries Res 1995; 29: 349-354.

68. **Lussi, A.; Portmann, P.; Burhop, B.:**
Erosion on abraded dental hard tissues by acid lozenges: an in situ study.
Clin Oral Invest 1997; 1: 191-194.
69. **Maron, F.S.:**
Enamel erosion resulting from hydrochloric acid tablets.
J Am Dent Assoc 1996; 127: 781-784.
70. **Maupome, G.; Aguilar, A.M.; Medrano, U.H.; Borges, Y.A.:**
In vitro quantitative microhardness assessment of enamel with early salivary pellicles after exposure to an eroding cola drink.
Caries Res 1999; 33: 140-147.
71. **McClure, F.J.:**
The effect of fluoride on rat caries and the composition of rat teeth.
J Nutr 1941; 22: 391.
72. **McDougall, W.A.:**
Effect of milk on enamel demineralization and remineralization in vitro.
Caries Res 1977; 11: 166-172.
73. **McIntyre, J.M.:**
Erosion.
Aust Prosth J 1992; 6: 17-25.
74. **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 1986; 94: 491-499.
75. **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 1987; 21: 353-359.
76. **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 1990a; 98: 120-128.
77. **Meurman, J.H.; Torkko, H.; Hirvonen, J.; Koskinen, J.; Rytömaa, I.:**
Application of a new mechanical properties microprobe to study hardness of eroded bovine enamel in vitro.
Scand J Dent Res 1990b; 98: 568-573.

78. **Meurman, J.H.; Frank, R.M.:**
Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel.
Caries Res 1991a; 25: 81-87.
79. **Meurman, J.H.; Frank, R.M.:**
Scanning electron microscopic study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion.
Caries Res 1991b; 25: 1-6.
80. **Meurman, J.H.; Toskala, J.; Nuutinen, P.; Klemetti, E.:**
Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1994; 78: 583-589.
81. **Meurman J.H.; Ten Cate, T.M.:**
Pathogenesis and modifying factors of dental erosion.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 199-206.
82. **Miller, W.D.:**
Experiments and observations on the wasting of tooth tissue, variously designed as erosion, abrasion, chemical abrasion, denudation, etc..
Dent Cosm 1907; 49: 109-124.
83. **Miller, C.D.:**
Enamel erosive properties of fruits and various beverages.
J Am Diet Assoc 1951; 28: 319-324.
84. **Milosevic, A.; Dawson, L.J.:**
Salivary factors in vomiting bulimics with and without pathological tooth wear.
Caries Res 1996; 30: 361-366.
85. **Mistry, M.; Grenby, T.H.:**
Erosion by soft drinks of rat molar teeth assessed by digital image analysis.
Caries Res 1993; 27: 21-25.
86. **Munoz, C.A.; Feller, R.; Haglund, A.; Triol, C.W.; Winston, A.E.:**
Strengthening of tooth enamel by a remineralizing toothpaste after exposure to an acidic soft drink.
J Clin Dent 1999; 10: 17-21.
87. **Nelson, D. G. A.; Jongebloed, W.; Arends, J.:**
Morphology of enamel surfaces treated with topical fluoride agents: SEM considerations.
J Dent Res 1983; 62: 1201-1208.

88. **Noack, M.J.:**
REM-Untersuchungen an Erosionen der Zahnhartsubstanzen in vivo.
Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 517-520.
89. **Øgaard, B.:**
CaF₂-formation: cariostatic properties and factors of enhancing the effect.
Caries Res 2001; 35: 40-44.
90. **Petzold, M.:**
The influence of different fluoride compounds and treatment conditions on dental enamel: A descriptive in vitro study of the CaF₂ precipitation and microstructure.
Caries Res 2001; 35: 45-51.
91. **Pindborg, J.J.:**
Pathology of the dental hard tissues.
Copenhagen, Munksgaard 1970; 312-325.
92. **Restarski, J.S.; Gortner, R.A.; McCay, C.M.:**
Effect of acid beverages containing fluorides upon the teeth of rats and pupies.
J Am Dent Assoc 1945; 32: 668.
93. **Reussner, G.H.; Coccodrilli, G.; Thiessen, R.:**
Effects of phosphates in acid-containing beverages on tooth erosion.
J Dent Res 1975; 54: 365-370.
94. **Robb, N.D.; Smith, B.G.N.:**
Prevalence of pathological tooth wear in patients with chronic alcoholism.
Br Dent J 1990; 169: 367-369.
95. **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 1995; 178: 171-175.
96. **Roberts, M.W.; Li, S.H.:**
Oral findings in anorexia nervosa and bulimia nervosa: a study of 47 cases.
J Dent Assoc 1987; 115: 407-410.

97. **Rølla, G.; Øgaard, B.; De Almeida Cruz, R.:**
Topical application of fluorides on Teeth. New concepts of mechanism of interaction.
J Clin Periodontal 1993; 20: 105-108.
98. **Rugg-Gunn, A.J.; Maguire, A.; Gordon, P.H.; McCabe, J.F.; Stephenson, G.:**
Comparison of erosion of dental enamel by four drinks using an intra-oral appliance.
Caries Res 1998; 32: 337-343.
99. **Rytömaa, I.; Meurman, J.H.; Koskinen, J.; Laakso, T.; Gharazi, L.; Turunen, R.:**
In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs.
Scand J Dent Res 1988; 96: 324-333.
100. **Rytömaa, I.; Meurman, J.H.; Franssila, S.; Torkko, H.:**
Oral hygiene products may cause dental erosion.
Proc Finn Dent Soc 1989; 85: 161-166.
101. **Saxegaard, E.; Rølla, G.:**
Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro.
Scand J Dent Res 1988; 96: 523-535.
102. **Scheutzel, P.:**
Zahnmedizinische Befunde bei psychogenen Eßstörungen.
Dtsch Zahnärztl Z 1992, 47: 119-123.
103. **Scheutzel, P.:**
Etiology of dental erosion – intrinsic factors.
Eur J Oral Sci 1996;104: 178-190.
104. **Schick, A.:**
Die Wirkung verschiedener Fluor-Präparate bei wiederholter Erosion und Remineralisation des Zahnschmelzes.
Med Diss, Bern, 1987.
105. **Schweizer-Hirt, C.M.; Schait, A.; Schmid, R.; Imfeld, T.; Lutz, F.; Mühlemann, H.R.:**
Erosion und Abrasion des Schmelzes. Eine experimentelle Studie.
Schweiz Mschr Zahnheilk 1978; 88: 497- 529.

106. **Shabat, E.; Anaise, J.; Westreich, V.; Gedalia, I.:**
Erosion and fluoride content in molar surfaces of rats that drank a cola beverage with and without fluoride.
J Dent Res 1975; 54: 426.
107. **Simmons, M.S.; Thompson, D.C.:**
Dental erosion secondary to ethanol-induced emesis.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1987; 64: 731-733.
108. **Smith, B.G.N.; Knight, J.K.:**
A comparison of patterns of tooth wear with aetiological factors.
Br Dent J 1984; 157: 16-19.
109. **Smith, B.G.N.; Robb, N.D.:**
Dental erosion in patients with chronic alcoholism.
J Dent 1989; 17: 219-221.
110. **Smith, A.J.; Shaw, L.:**
Comparison of rates of clearance of glucose from various oral sites following drinking with a glass feeder cup and straw.
Med Sci Res 1993; 21: 617-619.
111. **Sognaes, R.F.; Wolcott, R.B.; Xhonga, F.A.:**
Dental erosion – Erosion-like patterns occurring in association with other dental conditions.
J Am Dent Assoc 1972; 84: 571-576.
112. **Sorvari, R.; Kiviranta, I.; Luoma, H.:**
Erosive effect of a sport drink mixture with and without addition of fluoride and magnesium on the molar teeth of rats.
Scan J Dent Res 1988; 96: 226-231.
113. **Sorvari, R.; Meurman, J.H.; Alakuijala, P.; Frank, R.M.:**
Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro.
Caries Res 1994; 28: 227-232.
114. **Sorvari, R.; Pelttari, A.; Meurman, J.H.:**
Surface ultrastructure of rat molar teeth after experimentally induced erosion and attrition.
Caries Res 1996; 30: 163-168.
115. **Spencer, A.J.; Ellis, L.N.:**
The effect of fluoride and grapefruit juice on the etching of teeth.
J Nutr 1950; 43: 107-115.

116. **Stephan, R.M.:**
Effects of different types of human foods on dental health in experimental animals.
J Dent Res 1966; 45: 1551-1561.
117. **Stösser, L.; Nekrashevych, Y:**
Erosion of dental enamel in vitro and rehardening by saliva in vivo.
Caries Res 1998; 32: 310 (Abstr.).
118. **Taylor, G.; Taylor, S.; Abrams, R.; Mueller, W.:**
Dental erosion associated with asymptomatic gastroesophageal reflux.
J Dent Child 1992; 59: 182-185.
119. **Ten Bruggen Cate, H.J.:**
Dental erosion in industry.
Br J Ind Med 1968; 25: 249-266.
120. **Ten Cate, J.M.; Imfeld, T.:**
Dental erosion, summary.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 241-244.
121. **Theuns, H.M.; van Dijk, J.W.E.; Jongebloed, W.L.:**
The mineral content of human enamel studied by polarizing microscopy, microradiography, and scanning microscopy.
Arch Oral Biol 1983; 28: 797-803.
122. **Weatherell, J.A.; Robinson, C.:**
The inorganic composition of teeth.
In Zipkin I (ed): Biological mineralization.
New York, John Wiley and Sons 1973; 43-74.
123. **Weiss, M.E.; Bibby, B.G.:**
Effects of milk on enamel solubility.
Archs Oral Biol 1966; 11: 49-57.
124. **West, N.X.; Maxwell, A.; Hughes, J.A.; Parker, D.M.; Newcombe, R.G.; Addy, M.:**
A method to measure clinical erosion: the effect of orange juice consumption on erosion of enamel.
J Dent 1998; 26: 329-335.
125. **Wilder-Smith, P.:**
Acid erosion of enamel prophylaxis and treatment by various remineralising regimes. An in vitro and in vivo study.
Med Diss, Bern, 1984.

-
126. **Wynn, W.; Hald, J.:**
The erosive action of various fruit juices on the lower molar teeth of the albino rat.
J Nutr 1948; 35: 489-497.
127. **Xhonga, F.A.; Sognaes, R.F.:**
Dental erosion: Progress of erosion measured clinically after various fluoride applications.
J Am Dent Assoc 1973; 87: 1223-1228.
128. **Xhonga, F.A.; Valdmanis, S.:**
Geographic comparisons of the incidence of dental erosion: a two centre study.
J Oral Rehabil 1983; 10: 269-277.
129. **Zero, D.T.:**
Etiology of dental erosion – extrinsic factors.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 162-177.
130. **Zhang, X.Z.; Anderson, P.; Dowker, S.E.P.; Elliot, J.C.:**
Optical profilometric study of changes in surface roughness of enamel during in vitro demineralisation.
Caries Res 2000; 34: 164-174.
131. **Zipkin, I.; McClure, F.J.:**
Salivary citrate and dental erosion.
J Dent Res 1949; 28: 613-626.

8 ANHANG

8.1 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Joachim Klimek, Leiter der Poliklinik Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Giessen, und Frau Dr. Carolina Ganss, Oberärztin in oben genannter Abteilung, bin ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die sehr hilfreiche Betreuung bei der Erstellung dieser Studie sehr dankbar.

Weiterhin bin ich Frau Birgit Meier und Herrn Dipl.-Phys. Jens Belzer, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Medizinischen Zentrums der Justus-Liebig-Universität Giessen zu Dank verpflichtet, die mir während der Versuche hilfreich zur Seite standen.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei dem Kollegen Dr. Markus Schweitzer und bei Herrn Mario Lein für deren Unterstützung bei der praktischen Durchführung der Arbeit.

8.2 Lebenslauf

Name:	Franz Josef Schuster	
Geburtsdatum:	26.05.1971	
Geburtsort:	Laupheim	
Staatsangehörigkeit:	deutsch	
Familienstand:	ledig	
Eltern:	Franz Joseph Schuster Gertrud Schuster, geb. Strehle	
Schulbildung:	1977 – 1981 1981 – 1990 Mai 1990	Grundschule Ummendorf Wieland-Gymnasium Biberach Abitur
Grundwehrdienst:	1990 – 1991	Kempton, München, Altstadt
Freiwillig Soziales Jahr:	1991 – 1992	Kreiskrankenhaus Biberach
Berufsausbildung:	1992 – 1997	Studium der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-Universität Giessen
	1993 1995 1997	Naturwissenschaftliche Vorprüfung Zahnärztliche Vorprüfung Zahnärztliche Prüfung
Berufliche Tätigkeit:	1998 – 1999 1999 – 2001 August 2001	Assistenz Zahnarzt in Staufenberg (Hessen) Assistenz Zahnarzt in Sigmarszell (Bayern) Selbständig in Vogt (Baden-Württemberg)