

In situ Untersuchung zur Wirksamkeit verschiedener
Fluoridierungsmaßnahmen einer symptomatischen Therapie von
säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten

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

vorgelegt von Brune, Valerie
aus Bochum

Gießen 2003

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

Leiter: Prof. Dr. Klimek
des Universitätsklinikums Gießen

Gutachterin: Frau PD Dr. Ganß

Gutachter: Prof. Dr. Schulz

Tag der Disputation: 12.02.2004

GLIEDERUNG

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 2 | LITERATURÜBERSICHT | 2 |
| 2.1 | EROSIONEN | 2 |
| 2.1.1 | DEFINITION UND ÄTIOLOGIE | 2 |
| 2.1.2 | EPIDEMIOLOGIE | 10 |
| 2.2 | THERAPIEMAßNAHMEN | 13 |
| 2.2.1 | KAUSALE THERAPIE | 13 |
| 2.2.2 | SYMPTOMATISCHE THERAPIE | 20 |
| 3 | MATERIAL UND METHODEN | 27 |
| 3.1 | PROBANDEN | 27 |
| 3.1.1 | AUSWAHLKRITERIEN | 27 |
| 3.2.1 | ANALYSE DER SPEICHELPARAMETER | 27 |
| 3.2 | HERSTELLUNG DER SCHMELZPROBEN | 28 |
| 3.2.1 | ZAHNAUSWAHL | 28 |
| 3.2.2 | ANFERTIGUNG DER ZAHNPROBEN | 29 |
| 3.2.3 | HERSTELLUNG DER SCHMELZPROBENTRÄGER | 30 |
| 3.2.4 | PROBENTRÄGERAPPARATUR | 32 |
| 3.3 | VERSUCHSAUFBAU UND –DURCHFÜHRUNG | 33 |
| 3.3.1 | ERZEUGUNG DER EROSIONEN | 33 |
| 3.3.2 | FLUORIDPRODUKTE | 34 |
| 3.3.3 | PROBANDENINSTRUKTION | 34 |
| 3.3.4 | VERSUCHSABLAUF | 36 |
| 3.4 | BESTIMMUNG DES MINERALGEGHALTS | 37 |
| 3.5 | STATISTISCHE AUSWERTUNG | 40 |
| 3.6 | MATERIALIEN- UND CHEMIKALIENLISTE | 42 |
| 3.6.1 | MATERIALIEN | 42 |
| 3.6.2 | CHEMIKALIEN | 45 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | ERGEBNISSE | 46 |
| 4.1 | ALLGEMEINES | 46 |
| 4.2 | EFFEKT DER IN SITU SITUATION IM VERGLEICH ZU DEN WERTEN DES IN VITRO VERSUCHS | 47 |
| 4.3 | BETRACHTUNG DES FLUORIDEFFEKTS | 48 |
| 4.4 | BETRACHTUNG DER EINZELNEN PROBANDEN | 49 |
| 5 | DISKUSSION | 52 |
| 5.1 | VERSUCHSAUFBAU UND –DURCHFÜHRUNG | 52 |
| 5.1.1 | EROSIONSERZEUGUNG | 53 |
| 5.1.2 | MEßMETHODEN | 57 |
| 5.2 | DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 61 |
| 5.2.1 | EINFLUSS DER IN SITU BEDINGUNGEN AUF DEN MINERALVERLUST | 61 |
| 5.2.2 | EINFLUSS DER FLUORIDAPPLIKATION AUF DEN MINERALGEHALT | 65 |
| 5.2.3 | VERGLEICH DER PROBANDEN | 71 |
| 6 | ZUSAMMENFASSUNG | 74 |
| 7 | LITERATURVERZEICHNIS | 77 |
| 8 | ANHANG | 93 |
| 8.1 | DANKSAGUNG | 93 |
| 8.2 | LEBENS LAUF | 94 |

1 EINLEITUNG

Direkter Kontakt von Säuren mit der plaquefreien Schmelz- oder Dentin-oberfläche kann zu einer Demineralisation der Zahnhartsubstanz führen, die nach Überschreiten des Kompensationsvermögens des Speichels zu einer irreversiblen Schmelzauflösung und zentripetalen Defektbildung führt. Als ätiologische Faktoren werden endogene (Magensäure) und exogene Säuren (in Getränken, Lebensmitteln, und Medikamenten) verantwortlich gemacht (Meurman und ten Cate, 1996). Dementsprechend ist die Prävalenz solcher Defekte beispielsweise bei Patienten mit Essstörungen, bei Vegetariern und Rohköstlern im Vergleich zur Normalbevölkerung um ein Vielfaches höher (Linkosalo und Markkanen, 1985; Scheutzel, 1996; Ganss et al., 1999). Die Empfehlungen zur Therapie von erosivem Zahnhartsubstanzverlust sind in bezug auf die Anwendung von Fluoriden aus der Kariesprophylaxe entnommen und nur in wenigen in vitro Untersuchungen untersucht worden. So ist beispielsweise bekannt, dass Fluorid eine erosiv demineralisierte Schmelzoberfläche wieder zu härten vermag (Sorvari et al., 1994; Attin et al., 1997a; Stösser und Nekrashevych, 1998). In einem in vitro Versuch wurde der Effekt einer Remineralisationslösung in Verbindung mit niedrig- und hochdosiertem Fluorid untersucht. Es ergab sich, dass die Remineralisationslösung das Fortschreiten der Erosionen signifikant vermindern konnte, was durch die zusätzliche Anwendung von Fluoridpräparaten unterstützt wurde. Dieser zusätzliche Effekt von Fluorid lag jedoch nur in einer Größenordnung von ca. 20% (Ganss et al.; 2001). Als Wirkungsmechanismus wird dabei die Ausbildung eines CaF_2 -ähnlichen Präzipitats diskutiert. Die Wirksamkeit von Fluorid im Rahmen einer symptomatischen Therapie von säurebedingten Zahnhartsubstanzverlusten ist bislang jedoch nicht in situ quantifiziert worden. Da CaF_2 -ähnliche Deckschichten in situ stabiler sein können als in vitro, könnte unter Mundbedingungen ein besserer Fluorideffekt erwartet werden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, in einem mehrtägigen De- und Remineralisationszyklus die Wirksamkeit von Fluoridierungsmaßnahmen unter Mundbedingungen zu überprüfen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Erosionen

2.1.1 Definition und Ätiologie

Erosionen sind definiert als ein flächenhaft von der Schmelzoberfläche her erfolgender, langsam chronischer Substanzverlust an Schmelz und später Dentin, der durch chemische Demineralisierung ohne Beteiligung von Bakterien verursacht wird (Pindborg, 1970; Hotz, 1987; Schröder, 1997).

Erosionen entstehen durch häufige direkte Säureeinwirkung auf Zahnhartsubstanzen, wobei die Zahnoberfläche demineralisiert wird (Hellwig et al., 1995).

Durch die Definition ist die Erosion eindeutig von einer Karies abzugrenzen (Schweizer-Hirt et al., 1978), da diese bei entsprechender Substratzufuhr durch Mikroorganismen verursacht wird, welche organische Säuren bilden und dadurch die Demineralisation hervorrufen. Außerdem handelt es sich bei der Erosion um einen oberflächlichen totalen Substanzverlust mit einer nur geringen Demineralisation unterhalb der Oberfläche, während die Karies unterhalb einer relativ intakten Oberfläche einen demineralisierten Läsionskörper verursacht.

Chemisch gesehen entsteht eine Erosion, wenn bei einem pH-Wert unter vier die umgebende Lösung in bezug auf Fluorapatit und Hydroxylapatit untersättigt ist. Liegt bei einem pH-Wert um fünf die umgebende Lösung in bezug auf Fluorapatit über dem Sättigungspunkt und in bezug auf Hydroxylapatit unter dem Sättigungspunkt, entsteht eine kariesähnliche Läsion mit einer „subsurface“ Demineralisation und einer gut mineralisierten Oberflächenschicht (Larsen 1973, 1974a, b). Weiterhin ist die Erosion von der Attrition, der Abrasion und dem keilförmigen Defekt abzugrenzen, da es sich hierbei um rein mechanische Vorgänge handelt (Hellwig et al., 1995). Die Diagnose von erosiven Zahnhartsubstanzverlusten ist bei Erwachsenen einfacher als bei Kindern, da bei diesen der erosive Prozess öfter von Abrasionen und Attritionen überlappt wird (Lussi, 1996). Als Ursachen für die Entstehung von Erosionen werden

extrinsische und intrinsische Faktoren verantwortlich gemacht (Järvinen et al., 1991; Meurman und ten Cate, 1996; Imfeld, 1996; Zero, 1996).

Als extrinsische Faktoren sind besonders der häufige Genuss saurer Lebensmittel (Nahrungsmittel und Getränke), die Einnahme von sauren Medikamenten oder Vitaminpräparaten (Järvinen et al., 1991; Hannig, 1993) und selten eine berufliche Exposition zu nennen (Zero, 1996).

Die erosive Wirkung von Fruchtsäuren ist schon zur Jahrhundertwende von Miller (1907) beschrieben worden. Seitdem wurde die erosive Wirkung von Fruchtsäften und säurehaltigen Nahrungsmitteln in einer Vielzahl von Studien untersucht (Stafne und Lovestedt, 1947; Holloway et al., 1958; Levine, 1973; Eccles und Jenkins, 1974; Fuller und Johnson, 1977; Touyz, 1980; Touyz et al., 1981; Asher und Read, 1987; Linkosalo et al., 1988).

Das Ausmaß der Schmelzauflösung durch Säuren hängt von verschiedenen Faktoren ab; dazu zählen z.B. pH-Wert, Art, Menge und Konzentration der Säure, das Vorkommen von Kalzium-, Phosphat- und Fluoridionen, sowie die Dauer des pH-Wert Abfalls.

Aber nicht nur diese Faktoren alleine, sondern auch die Häufigkeit der Säureaufnahme bestimmt das Ausmaß der Erosion. Basierend auf einer Fallstudie von finnischen Erwachsenen stellten Järvinen et al. (1991) ein erhöhtes Erosionsrisiko fest, wenn Zitrusfrüchte häufiger als zweimal pro Tag gegessen oder Softdrinks täglich getrunken werden, außerdem wenn Apfelessig oder Erfrischungsgetränke wöchentlich mehrmals aufgenommen werden. In einer anderen Studie fanden Lussi et al. (1991) heraus, dass der Konsum von Zitrusfrüchten, anderen Früchten (Äpfeln, Birnen und Pflaumen) sowie Fruchtsäften signifikant mit dem Auftreten von Erosionen assoziiert werden kann.

Linkosalo und Markkanen (1985) haben bei 26 Patienten mit laktovegetarischer Diät eine Untersuchung durchgeführt. Dabei wiesen 76,9% der Patienten Erosionen an den okklusalen Zahnflächen auf. Davon waren 26,9% leichte Formen, 19,2% mittelschwere Substanzverluste und 30,8% schwere Formen. Nur 23,1% der Laktovegetarier zeigten keine Erosionen. Auch in dieser Untersuchung kamen die Autoren

zu dem Schluss, dass bei diesem Personenkreis ein wichtiger Faktor zur Entstehung von Erosionen die Häufigkeit ist, mit der Essig bzw. in Essig konservierte Nahrungsmittel, Zitrusfrüchte und saure Beerenfrüchte mit den Zahnflächen in Kontakt stehen.

Personen, die sich hauptsächlich von Rohkost ernähren, haben gegenüber Personen, die sich von konventionellen Lebensmitteln ernähren, ein erhöhtes Risiko für Erosionen (Ganss et al., 1999). Das Ziel der Studie war, die Häufigkeit und die Schwere von Erosionen in Verbindung mit den Ernährungs- und Mundhygienegewohnheiten von Rohköstlern zu untersuchen. Dazu wurden 130 Patienten untersucht, die sich nahezu ausschließlich von Rohkost ernährten (Rohkostanteil mehr als 95%), wobei die Dauer der Rohkosternährung durchschnittlich 39 Monate (Min. 17; Max. 418) betrug. Zur Kontrolle wurden 76 Personen der Zahnklinik Giessen von gleichem Alter und Geschlecht ausgewählt. Bei den Rohköstlern wurde eine mittlere Häufigkeit der Aufnahme von Zitrusfrüchten von $4,8 \pm 2,65$ pro Tag ermittelt. Der Anteil von Früchten an der gesamten Nahrung betrug $61,7 \pm 13,75\%$; dies entspricht einem durchschnittlichen Verbrauch von 9,5 kg (Min. 1,5 kg; Max. 23,7 kg) Früchten pro Woche. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wiesen die Rohköstler mit etwa 97% signifikant mehr Erosionen auf. Nur 2,3% von ihnen zeigten keine erosiven Defekte, wohingegen es in der Kontrollgruppe 13,2% waren.

Aeschbacher hat bereits 1967 berichtet, dass die Häufigkeit des Kontaktes von Fruchtsäuren mit dem Schmelz von entscheidender Bedeutung ist. Sie hat das Schmelzentkalkungspotential verschiedener Fruchtsäfte in einer in vitro Studie bestimmt. Als Versuchslösungen dienten Zitronensaft (pH 2,25; von Hand ausgepresste Zitronen) und Apfelsaft (pH 2,92; geschälte Äpfel; mit Bircherraffel gerieben). Die Fruchtsäfte führten zu einer Erweichung des Zahnschmelzes. Am ausgeprägtesten wurde er von Zitronensäure angegriffen. Bei einigen Fruchtsäften waren schon nach 2,5 Minuten Einwirkzeit deutliche Erweichungen der Schmelzanschliffe feststellbar. Mit zunehmender Behandlungszeit nahm auch der Grad der Erweichung zu. Außerdem scheint zwischen pH-Werten und Entkalkungspotential der Fruchtsäuren ein Zusammenhang zu bestehen:

Stark saure Säfte demineralisieren den Schmelz stärker als Säfte mit hohen pH-Werten, d.h. das Ausmaß der erosiven Schädigung scheint primär vom pH-Wert des Fruchtsaftes abzuhängen. Bei genauer Betrachtung der Resultate ist diese Beziehung aber nicht streng. Der Entkalkungsgrad dürfte auch auf der Wirkung spezifischer Fruchtsäureanionen (z.B. Zitratanion) und nicht nur auf der Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert an der Zahnoberfläche) beruhen (Aeschbacher, 1967).

Auch Meurman et al. (1990) erkannten, dass der pH-Wert eines Getränkes bei der Entstehung erosiver Läsionen von großer Relevanz ist. In einer in vitro Studie an Rinderschmelzproben untersuchten sie die erosive Wirkung neuer experimenteller Sportgetränke auf den Zahnschmelz. Zur Messung des Mineralverlustes nach dem Einbringen der Proben in die Getränke diente die profilometrische Analyse. Danach wurde die Oberflächenhärte der Proben gemessen und elektronenmikroskopische Aufnahmen angefertigt. Insgesamt wurden dreizehn kommerzielle Sportgetränke und experimentelle Getränke getestet, die entweder Zitronen- oder Apfelsäure enthielten. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass zwischen dem erosiven Effekt von Sportgetränken und niedrigen pH-Werten eine Korrelation zu bestehen scheint. Je niedriger der pH-Wert eines Getränkes ist, um so größer ist das Ausmaß der Erosion. Die Hydroxylapatit auflösende Wirkung der Getränke begann bei einem pH-Wert von etwa 5,0, stieg aber dann exponentiell mit fallendem pH-Wert an. Im allgemeinen wird der kritische pH-Wert bei 4,0 - 4,5 angenommen (Larsen und Nyvad, 1999; Stephan, 1966).

Aber nicht nur der pH-Wert einer sauren Lösung, sondern auch ihr Gehalt an titrierbarer Säure ist von wichtiger Bedeutung für den Grad der chemisch-erosiven Zahnschmelzdestruktionen (Grenby, 1990). Dabei untersuchte er mittels der Atomabsorptionsspektroskopie neben der Löslichkeit von Phosphorionen auch die Löslichkeit von Kalziumionen aus dem Hydroxylapatit des Schmelzes. Als Testlösungen dienten acht verschiedene Erfrischungsgetränke mit einem pH-Wert von 2,5 - 3,8. Die Gesamtmenge an titrierbarer Säure entsprach je nach Getränk einem

Äquivalent von 0,5 ml bis 3,7 ml NaOH. Jeweils 10 ml der Getränke wurden mit 0,01 g pulverisiertem Hydroxylapatit bei 37°C vermischt, anschließend geschüttelt und nach jeweils zwei, vier, sechs und 24 Stunden Flüssigkeitsproben zur Kalzium- bzw. Phosphoranalyse entnommen. Die größten Veränderungen bezüglich des Kalziums zeigten sich nach vier bis sechs Stunden, wobei die geringste Demineralisation bei dem Colageränk, kalorienarmer Limonade und Ananassaft beobachtet wurde. Zitronensaft und ein Johannisbeergetränk ließen die größte Menge an Kalzium in Lösung gehen. Die Phosphoranalyse bestätigte die hohe erosive Wirkung von Zitronensaft und die geringe Wirkung des Colageränk. Zwar hat Cola einen sehr niedrigen pH-Wert (ca. pH 2,6 bei 0,05% Phosphorsäure), jedoch ist darin nur sehr wenig titrierbare Säure enthalten.

Lussi et al. (1993) haben den Einfluss weiterer Faktoren auf in vitro erzeugte Schmelzerosionen untersucht und dabei festgestellt, dass das erosive Potential verschiedener säurehaltiger Getränke und Nahrungsmittel auch vom Kalzium-, Phosphat- und Fluoridgehalt abhängig ist. Ein Fitnessgetränk mit relativ hohem Phosphatgehalt (5,93 mmol/l) zeigte z.B. im Vergleich zu einem anderen Fitnessgetränk mit weniger Phosphat (1,61 mmol/l) bei annähernd gleichem pH-Wert keine erosiven Effekte. Aber auch Joghurt mit einem Phosphatgehalt von 21,39 mmol/l verursachte keine Erosionen. Im Gegensatz dazu wiesen Erfrischungsgetränke (z.B. Sprite Light®) ohne Phosphat und mit geringem Kalzium- und Fluoridanteil zusammen mit Apfel- und Grapefruitsaft das höchste Erosionspotential auf.

Grobler et al. (1989) versuchten, fünf verschiedene Früchte im Hinblick auf ihr erosives Potential aufzureihen. Dabei wurde der Gehalt des aus der Schmelzoberfläche in Lösung gegangenen Kalziums bestimmt. Aus der ermittelten Kalziumkonzentration wurde auf die Ätztiefe geschlossen. Während den ersten sechs Minuten wurde die höchste initiale Erosionsrate für die Aprikose gefunden, die den höchsten Gehalt an titrierbarer Säure besaß. Grapefruit und Guave wiesen eine mittlere und Äpfel und Orangen die niedrigste Erosionsrate auf. Nach 40 Minuten zeigte sich die größte Erosionstiefe bei Grapefruit gefolgt von Aprikose,

Guave, Äpfel und Orangen. Die Autoren konnten aus den ermittelten Ergebnissen schließen, dass der Grad der Schmelzerosion von einer Kombination von Faktoren abhängt; dazu zählen etwa pH-Wert, Menge und Verhältnis der verschiedenen Säuren, sowie die Art der Säure und andere chemische Komponenten, die in den Früchten enthalten sind (Grobler et al., 1989).

Etwas später wurden von Grobler et al. (1990) mit der gleichen *in vitro* Methode die Demineralisierung des Schmelzes durch Orangensaft, Apfelsaft, Pepsi-Cola und Diät-Pepsi-Cola bestimmt. Orangensaft und Colagetränke demineralisierten den Zahnschmelz während der ersten zehn Minuten am intensivsten, gefolgt von Apfelsaft. Die Diät-Cola verursachte die geringste Erosion von den getesteten Produkten. Die Autoren führten dies auf den Kalziumgehalt der Diät-Cola zurück, da dieser mehr als doppelt so hoch war wie in den anderen Getränken.

Als weitere extrinsische Ursache für Erosionen können auch saure Medikamente und Vitaminpräparate verantwortlich sein, wie z.B. Ascorbinsäure, Acetylsalicylsäure (Rogalla et al., 1992; Hannig et al., 1992; Hannig und Albers, 1993), Azida (Maron, 1996) oder Eisenpräparate (Hickel, 1989). In *in vitro* Studien haben Meurman und Murtomaa (1986) die Wirkung von Vitamin C-Präparaten auf Rinderzähne untersucht und konnten zeigen, dass alle Vitamin C-Präparate potentiell erosiv sind, wenn sie in direkten Kontakt mit der Zahnoberfläche kommen. Bei exzessiver Dosierung kann ein schwerer Oberflächenverlust resultieren, der sich in Form ausgeprägter Erosionen der Palatinal-, Inzisal- und Okklusalfächen der Zähne äußert (Giunta 1983).

Hannig und Albers (1993) untersuchten in einer *in vitro* Studie die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure (ASS) im Vergleich zur Zitronensäure auf Zahnschmelz und Dentin. Auf den Schmelz- und Dentinproben konnten elektronen-mikroskopisch erosive Veränderungen festgestellt werden, deren Ausmaß von der Einwirkzeit und der Konzentration der Säure abhängig war. Die quantitative Oberflächenanalyse von Schmelzproben zeigte, dass Zitronensäure in höheren Konzentrationen und bei längerer Einwirkzeit ein ausgeprägteres erosives Potential als ASS besitzt, obwohl die pH-Werte von Zitronensäure und ASS nur geringfügig differieren. Als

Erklärung für die stärker erosive Wirkung der Zitronensäure lässt sich die Komplex- und Chelatbildung mit Kalziumionen anführen, die zu einer beschleunigten erosiven Auflösung der Schmelzoberfläche beitragen kann. Durch den Zusatz von Kalziumkarbonat als Puffersubstanz zu ASS ließen sich die erosiven Oberflächenveränderungen sowohl am Zahnschmelz als auch am Dentin nahezu vollständig verhindern.

Neben den genannten Faktoren ist als weitere exogene Ursache auch die externe Säureeinwirkung durch berufliche Exposition in der Industrie zu betrachten. Zur Risikogruppe der berufsbedingten Erosionen zählen beispielsweise Arbeiter in Sprengstoff-, Dynamit- und Munitionsfabriken sowie in der Feuerwerkskörperherstellung und in der Druckindustrie, aber auch professionelle Weinkoster können durch ihren Beruf für Erosionen prädestiniert sein (Chaudhry et al., 1997). Über Berufsschäden durch industrielle Säuren haben ten Bruggen Cate (1968) und Tuominen et al. (1989, 1991) berichtet. Da beim Einatmen Säuredämpfe (z.B. Schwefel-, Salpeter- oder Salzsäure) in direkten Kontakt mit den labialen Frontzahnflächen kommen, führen diese speziell dort zu erosiven Veränderungen der Schmelzoberfläche (Boyes et al., 1959; Schweizer-Hirt et al., 1978).

Zu den wichtigsten endogenen Faktoren zählen das chronische Erbrechen von Mageninhalt, aber auch der gastroösophageale Reflux von Magensäure (Taylor et al., 1992) bzw. die habituelle Regurgitation (Järvinen et al., 1991; Scheutzel, 1996). Klinische Manifestationen treten aber gewöhnlich nur auf, wenn Magensäure in regelmäßigen Abständen einige Male in der Woche für mindestens ein bis zwei Jahre auf die Zahnhartsubstanz eingewirkt hat (Scheutzel, 1996). Besonders die oralen Flächen der Zähne sind beim Erbrechen der Magensäure ausgesetzt und auf den Zahnoberflächen kann der pH-Wert bis auf 1 - 2 fallen. Falls jedoch die Säureeinwirkung kurz und selten ist, kann die Zahnoberfläche remineralisiert werden. Sind die Zahnoberflächen aber längerer und/ oder häufiger Säureeinwirkungen ausgesetzt, entstehen irreversible Zahnhartsubstanzverluste.

Das chronische Erbrechen kann psychosomatisch sein. Die Prävalenz von psychosomatischen Störungen liegt in den westlichen Industrieländern bei jungen Frauen im Alter von zwanzig bis dreißig Jahren etwa bei 5%, wobei die Häufigkeit in den letzten dreißig bis vierzig Jahren angestiegen ist (Cooper et al., 1987, Pyle et al., 1991). In einer neueren norwegischen Studie lag die Prävalenz von Essstörungen bei den Frauen bei 8,7% (Götestam et al., 1995). Zu den Essstörungen gehören beispielsweise das stressbedingte Erbrechen sowie Anorexia- und Bulimia nervosa (Hellström, 1974; Brawdy, 1980; Eccles, 1982a und b; Robb et al., 1995; Scheutzel, 1996; Milosevic und Dawson, 1996; Khan, 1998, Öhrn et al., 1999). Etwa 20% der Patienten mit restriktiver Anorexia nervosa und mehr als 90% der Patienten mit Bulimia nervosa können von Erosionen betroffen sein (Hellström, 1977; Scheutzel, 1992a; Scheutzel und Meurmann, 1994; Robb et al., 1995). Järvinen et al. (1991) fanden heraus, dass das Erosionsrisiko bei Patienten mit wöchentlichem gastroösophageale Reflux von Magensäure um ein Vierfaches und bei Patienten mit chronischem Erbrechen sogar achtzehn mal höher ist, als bei Patienten, die nicht erbrechen.

Chronischer Alkoholismus wurde von Smith und Robb (1989) in Verbindung mit Erosionen untersucht. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass diese Erosionen weniger durch die Getränke selbst, als vielmehr durch die alkoholbedingten chronischen Gastritiden mit subklinischer Regurgitation zustande kommen. Dabei weisen bei Alkoholkranken die Palatinalflächen der Inzisivi im Oberkiefer zuerst Erosionen auf. In einem fortgeschrittenerem Stadium treten an den palatinalen und okklusalen Flächen der Prämolaren und Molaren des Oberkiefers und an den Schneidekanten der Inzisivi Erosionen auf (Simmons und Thompson, 1987; Robb und Smith, 1990). Bei Alkoholabusus allerdings bleiben Erosionen häufig unentdeckt. Dabei leiden etwa 10% der Erwachsenen an Alkoholismus (Christen, 1983; Brickley und Shepherd, 1989). In einer Studie von Smith und Knight (1984) fanden sich bei neun von 18 Patienten, die unter chronischem Alkoholismus litten, erosive Veränderungen. Im Gegensatz dazu stellten

Robb und Smith (1990) sogar in 34 Fällen (92%) Erosionen bei insgesamt 37 alkoholkranken Personen fest.

2.1.2 Epidemiologie

Insgesamt sind nur wenige epidemiologische Erhebungen zur Prävalenz oder Inzidenz von Erosionen publiziert. Zudem ist ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien schwierig, da die Einteilung des Schweregrades von Erosionen nicht standardisiert ist. Die meisten Studien konzentrieren sich auf kleine Untersuchungsgruppen, die ein potentiell Risiko für Erosionen haben, wie z.B. bestimmte Berufsgruppen und Personen mit Essstörungen (Wiktorsson et al., 1997; Öhrn et al., 1999; Ganss et al., 1999). Andere Studien sind Fallberichte (Chaudhry, 1997), oder es wird über Zahnhartsubstanzverlust im Allgemeinen und nicht über Erosionen explizit berichtet (Milosevic et al., 1994).

Eine der ersten publizierten Studien war die von Sognaes et al. (1972). Sie untersuchten 10000 extrahierte Zähne und fanden in etwa 18% Zähne mit erosiven Läsionen. Dabei waren die Unterkieferzähne häufiger als die Zähne im Oberkiefer betroffen. Außerdem wiesen die Frontzähne und die Prämolaren die meisten Erosionen auf, gefolgt von den Eckzähnen und zuletzt die Molaren, welche am wenigsten betroffen waren. Eine weitere Studie aus den USA ergab eine Erosionsprävalenz von 3% (Centerwall et al., 1986), während Järvinen et al. (1991) in einer Untersuchung aus Finnland eine Prävalenz von 5% ermittelten.

In einer in Boston und Los Angeles durchgeführten klinischen Studie von Xhonga und Valdmanis (1983) wurden Erosionen sogar bei 25% einer Stichprobe von 527 Patienten festgestellt. In der Schweiz wurden 391 zufällig ausgesuchte Erwachsene im Alter zwischen 26 und 30 sowie zwischen 46 und 50 Jahren untersucht. Am häufigsten waren Okklusalfächen betroffen, hier hatten 29,9% der jüngeren und 42,6% der älteren Personen bereits erosive Defekte mit Dentinbeteiligung. Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beobachteten Erosionen und bestimmten Ernährungsgewohnheiten wie der gehäuften

Aufnahme von Fruchtsäften, Zitronen oder anderen Früchten festgestellt (Lussi et al., 1991).

In einer Studie zur Zahngesundheit der Kinder in England zeigte sich bei über der Hälfte der fünf bis sechs Jährigen Anzeichen von Erosionen, wobei bei einem Viertel der Kinder das Dentin mitbeteiligt war (O'Brien, 1994). Der Zahnhartsubstanzverlust war an den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne mit 52% bei den fünfjährigen, verglichen mit 18% an den Bukkalflächen, am höchsten. Etwa ein Jahr später veröffentlichten Hinds et al. (1995) eine Studie, die über die Prävalenz von Erosionen bei 1,5 und 4,5 Jahre alten Kindern berichtet. 10% der Kinder hatten Erosionen auf den Bukkalflächen der Milchfrontzähne und bei 19% waren die Palatinalflächen betroffen. Erosionen bis in das Dentin wurden bei 8% der Kinder gefunden. Bartlett et al. (1998) untersuchten eine Gruppe von 11 - 14 Jahre alten Schulkindern. 57% wiesen Zahnhartsubstanzverluste an zehn oder mehr bleibenden Zähnen auf, jedoch war die Dentinbeteiligung gering. Im Gegensatz dazu wiesen in einer randomisierten Studie an 1035 14 jährigen Kindern 30% durch die Erosion exponiertes Dentin in der bleibenden Dentition auf (Milosevic et al., 1994). Das Ziel einer weiteren Studie von Jaeggi et al. (1999) war, die Prävalenz von Erosionen und keilförmigen Defekten bei Rekruten der Schweizer Armee zu bestimmen. Darüber hinaus wurde der Einfluss möglicher ätiologischer Faktoren untersucht. Dazu wurden von 417 Rekruten im Alter zwischen 19 und 25 Jahren die Erosionsindizes für die bukkalen, okklusalen und oralen Flächen und diejenigen der keilförmigen Defekte der Bukkalflächen aufgenommen. Außerdem wurden mittels Fragebogen Daten über Personalien, Schulbildung, subjektiven Gebisszustand, Mundhygiene, Essgewohnheiten, Medikamentenkonsum und das Auftreten von Krankheiten erhoben. 82% der untersuchten Personen zeigten okklusale Erosionen ohne Dentinbeteiligung, 30,7% okklusale Erosionen mit Dentinbeteiligung. Bukkale Erosionen ohne Dentinbeteiligung kamen bei 14,4% der Rekruten vor. Linguale Erosionen wurden selten gefunden (0,7%). Die multivariate Regressionsanalyse zeigte keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Auftreten und

der Lokalisation von Erosionen, sowie keilförmigen Defekten und Ernährungs- und Hygienegewohnheiten.

Markante Erosionen an den mesialen Seiten der oberen Frontzähne wurden bei einer Untersuchung von kubanischen Kindern beobachtet. In zehn Gemeinden von Havanna wurden zwölf Jahre alte Kinder untersucht. Es lagen in vier Gemeinden wenig oder sogar keine Fälle von Erosionen vor, in den restlichen sechs Gemeinden war das Auftreten von Erosionen jedoch sehr hoch (16,6 - 40,9%). Die typischen v-förmigen Erosionen wurden mit dem Genuss von Zitrusfrüchten in Verbindung gebracht (Künzel et al., 2000).

Um die Prävalenz und das Vorkommen für Erosionen bei Kindern und Jugendlichen zu untersuchen, wurden in einer Studie von Ganss et al. (2001) an Hand von Gipsmodellen aus der Kieferorthopädie erosive Läsionen an allen Zahnoberflächen von Milchzähnen und bleibenden Zähnen registriert. Insgesamt 1000 Individuen mit einem mittleren Alter von $11,4 \pm 3,3$ Jahren wurden untersucht, von denen 265 über fünf Jahre hinweg an Hand abschließender Modelle der Kieferorthopädie beobachtet werden konnten. Im Milchgebiss hatten nur 26,4% der Kinder keine Erosionen, 70,6% wiesen mindestens an einem Zahn geringgradige Läsionen auf und 26,4% hatten schwere Läsionen. Dabei zeigten 44% der okklusalen Zahnoberflächen der Molaren und 36% der Inzisalflächen der Eckzähne Erosionen Grad 1, sowie 11% und 9% Grad 2. Läsionen der oralen und vestibulären Zahnoberflächen waren nicht von großer Bedeutung ($<0,5\%$). Im bleibenden Gebiss hatten 88,4% keine Erosionen, 11,6% wiesen an mindestens einem Zahn Erosionen von Grad 1 und 0,2% einen Zahn mit Grad 2 auf, wobei die ersten Unterkiefermolaren am meisten betroffen waren (7% mit Grad 1). Läsionen der lingualen und vestibulären Zahnoberflächen waren ebenfalls nicht von großer Bedeutung ($<0,5\%$). Aus der Langzeitbeobachtung resultierte die Erkenntnis, dass Personen, die an ihren Milchzähnen Erosionen aufwiesen, ein deutlich höheres Risiko haben, auch an ihren bleibenden Zähnen Erosionen zu bekommen. Bei den Milchzähnen und den bleibenden Zähnen wurde in den letzten zwei Jahrzehnten eine signifikante Zunahme von Erosionen beobachtet. Dies kann z.B. auch an

den veränderten Ernährungsgewohnheiten liegen, denn in den letzten zwei Jahrzehnten stieg der Konsum von Früchten und säurehaltigen Getränken pro Kopf in Deutschland stark an. 1980 wurden etwa 85 kg Früchte und 30 kg Zitrusfrüchte pro Kopf konsumiert und 1990 waren es schon 93 kg und 32 kg pro Kopf. Der Verbrauch von Erfrischungsgetränken stieg von 71 auf 91 l/Person und von Fruchtsaft von 24 auf 40 l/Person an (Bundesverband der Deutschen Erfrischungsgetränke-Industrie e.V.)

2.2 Therapiemaßnahmen

2.2.1. Kausale Therapie

Die Therapie der Erosion ist vielschichtig. Im Gegensatz zur Karies, die ab einem bestimmten Stadium ohne restaurative Therapie fortschreitet, können erosive Zahnhartsubstanzverluste zu jedem Zeitpunkt auch ohne invasive Maßnahmen zum Stillstand kommen. Am Effektivsten ist die Vermeidung oder zumindest die Abschwächung der sauren Noxen.

Ein wichtiger Aspekt in der Therapie von Erosionen ist deshalb zunächst die Identifikation der sauren Noxen. Im Rahmen der Anamnese können allgemeinmedizinische Aspekte, sowie eine ausführliche Ernährungsanamnese betrachtet werden. Falls dies keine Klarheit über die Ursache der erosiven Zahnhartsubstanzverluste bringt, können die Patienten ein Ernährungsprotokoll führen. Mindestens eine Woche lang werden in diesem Protokoll die täglich konsumierten Lebensmittel und Getränke von den Patienten eingetragen. Auch zu welcher Uhrzeit und vor allem in welchen Mengen die Lebensmittel aufgenommen werden, kann festgehalten werden, um die jeweiligen Ernährungsgewohnheiten und Lebensmittelzusammensetzungen analysieren zu können.

Bei exogenen Ursachen ist den Patienten zu empfehlen, den Säurekonsum auf möglichst wenige Mahlzeiten zu beschränken, sowie die Säureeinwirkungszeit auf ein Minimum zu reduzieren. Dies kann z.B. mit Mundspülungen (Wasser, Fluoridlösungen und Bikarbonatlösungen)

unmittelbar nach der Einnahme säurehaltiger Nahrungsmittel oder Getränken erfolgen (Hotz, 1987).

Bei endogenen Ursachen sind besonders allgemeinmedizinische Maßnahmen erforderlich, um den Kontakt der Zahnhartsubstanz mit der Magensäure zu verringern. Die Anwendung von Mundspüllösungen ist ebenfalls empfehlenswert. Schwieriger ist dagegen eine kausale Therapie bei Personen mit Essstörungen. Bei Regurgitation mit psychosomatischer Ätiologie ist ein Psychologe oder sogar ein Psychiater zu konsultieren. Zudem können weitere Therapiemaßnahmen getroffen werden, wie z.B. die Aufnahmetechnik von Lebensmitteln zu variieren. Indem das Trinken von säurehaltigen Getränken z.B. durch einen Strohhalm anstatt mit einer Tasse erfolgt, kann das erosive Potential von Erfrischungsgetränken um etwa 40% reduziert werden. Dabei sollte ein schmaler Strohhalm im hinteren Teil des Mundes platziert werden, um die Kontaktzeit mit der erosiven Flüssigkeit mit den vorderen Zähnen zu verringern (Edwards et al., 1998).

Auch der Konsum von Produkten mit hohem Kalzium-, Phosphat- oder Fettgehalt wie z.B. Milch und Käse können bei der Therapie von Erosionen helfen. Die Wiedererhärtung des Zahnschmelzes in Zusammenhang mit Käse wurde schon in früheren Jahren diskutiert (Thomson, 1988). Die reparativen und protektiven Eigenschaften hängen wahrscheinlich von dem mineralisierenden Potential der Kasein-, -Kalzium- und Phosphatkomponenten des Käses ab.

Meurman et al. (1987) untersuchten den Zusammenhang von Getränken und dem pH-Wert der Mundhöhle. Sie fanden heraus, dass Joghurt und Sauermilch kaum lokale, erosive Effekte auf die Zahnhartsubstanzen haben. Experimente mit Milch zeigten sogar, dass ihr hoher Gehalt an Kalzium und Phosphat die Schmelzauflösung zu unterbinden vermag. Dieser Effekt der Verhinderung der Schmelzauflösung durch Kasein und durch andere verschiedene Peptide wurde auch von Reynolds et al. (1982, 1987, 1989) nachgewiesen. Weiterhin untersuchten Gedalia et al. (1991a) in situ die positive Wirkung von Käse, Milch und Speichel, die durch Cola erweichten Zahnschmelz wieder zu „erhärten“ vermag. Die

Schmelzproben lagen zunächst eine Stunde in der Testlösung. Anschließend wurden sie in individuell angefertigten Prothesenkörpern fixiert, vom Probanden getragen und für den Mikrohärtetest (vor und nach dem Versuch) herausgenommen. Es wurde eine remineralisierende Wirkung von Speichel und Milch/Käse durch Zunahme der Schmelzhärte im Mikrohärtetest bestätigt. Außerdem wurden elektronenmikroskopische Aufnahmen von den Schmelzproben während der verschiedenen Versuchsstadien angefertigt. Dabei schien die wiedererhärtete Schmelzoberfläche von einem homogenen Film bedeckt zu sein (Gedalia et al., 1991b).

Grenby (1996) setzte sich in seiner Studie mit verschiedenen Produktmodifikationen auseinander, durch die das Auftreten von Erosionen verringert werden kann. Eine Variation ist z.B. die Zugabe von angemessenen Mengen von Kalzium- und/oder Phosphat zu Getränken. Im Falle einer Erosionsentstehung können initial die Reaktionsprodukte (Ca^{2+} und PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4 , abhängig vom pH-Wert) eine Demineralisation vermeiden. Die Effektivität von Produktmodifikationen auf diesem Wege hängt jedoch von mehreren Faktoren ab, wie z.B. der Konzentration, der Löslichkeit von Kalzium- und Phosphatzusätzen, dem pH-Wert und der Temperatur (Grenby, 1996).

Eine Zusatzform für Getränke ist z.B. das Trikalziumphosphat. Hay et al. (1962) untersuchten dessen Effektivität, indem sie menschliche extrahierte Zähne Lösungen wie sauren Eis-Lollys, sauren Bonbons und saurem Grapefruitsaft aussetzten. Die Getränke wurden mit Lösungen von 2,4 und 6% Kalziumphosphat 1,5 Stunden geschüttelt. In Abhängigkeit von der Konzentration von Phosphat konnten Erosionen durch einen hohen Kalziumphosphatgehalt geringfügig reduziert und in einigen Fällen sogar ganz verhindert werden. Die optimale Konzentration von Trikalziumphosphat enthält laut Hay et al. 600 $\mu\text{g/ml}$ Ca und 300 $\mu\text{g/ml}$ P. Es war nicht eindeutig, ob die Autoren die niedrige Wasserlöslichkeit von Trikalziumphosphat bei neutralen pH-Werten berücksichtigt haben, aber sie wiesen darauf hin, dass der Schutz von Erosionen wahrscheinlich von dem Vorhandensein von Kalzium- und Phosphationen abhängt. Außerdem schlugen sie den Gebrauch von anderen Kalziumphosphaten oder

Mischungen aus Kalzium- und Phosphatsalzen, z.B. CaHPO_4 mit Kalziumacetat vor, welche sich schneller auflösen könnten.

Auch Reussner et al. (1975) konnten in einem Tierexperiment mit Ratten zeigen, dass Brausegetränke durch den Zusatz von Monokalziumphosphat (0,15% oder 0,30%) weniger Erosionen an den Molaren von Ratten verursachen als reine Orangen- und Traubensäfte. Mit Natriumphosphat angereicherte erosive Getränke zeigten sich als weniger effektiv bei der Verhinderung von erosiven Zahnhartsubstanzverlusten. Beiraghi et al. (1989) untersuchten ebenfalls an Ratten den Zusatz von Kalziumlaktat zu einem Colagetränk. Die Ratten wurden fünf Wochen entweder mit destilliertem Wasser, Coca-Cola® oder mit 5% Kalziumlaktat angereicherter Coca-Cola® gefüttert. Der pH-Wert des angereicherten Getränkes wurde mit Zitronen- und Phosphorsäure auf den pH-Wert des anderen Colagetränkes eingestellt. Die Analyse zeigte, dass Coca-Cola® signifikant ausgeprägtere Erosionen als die mit Kalziumlaktat modifizierte Coca-Cola® und das destillierte Wasser erzeugte. Somit wurde eine Reduktion von Erosionen bei Rattenzähnen mit Hilfe von Kalziumlaktat in Coca-Cola® erreicht.

In einer neueren Studie von Larsen et al. (1999) wurden der pH-Wert und die Pufferkapazität von verschiedenen Softgetränken mit ihrem erosiven Potential und der Löslichkeit von Apatit verglichen. Es wurde von achtzehn Softgetränken, Mineralwässern und Fruchtsäften des Dänischen Marktes der pH-Wert und die Konzentrationen von Kalzium, Phosphat und Fluorid bestimmt. Das erosive Potential der Getränke wurde an 54 menschlichen Zahnproben, die außer einem 3 x 4 mm großen Fenster mit Nagellack überzogen und für sieben Tage oder 24 Stunden 1,5 Liter eines Getränkes ausgesetzt wurden, studiert. Die Erosionstiefe wurde mit Hilfe eines Quantimet 550+ bestimmt. Softgetränke und reiner Orangensaft erreichten eine Erosionstiefe bis etwa 3 mm; die meisten Mineralwässer verursachten nur geringe Oberflächenveränderungen. Die Autoren konnten zeigen, dass Orangensaft, dem kein Kalzium oder Phosphat zugesetzt wurde, eine tiefere Läsion im Zahnschmelz verursachte als Orangensaft, der diese beiden Ionen enthielt. Kalkulationen verdeutlichten, dass bei einem pH-Wert von 4,03 Konzentrationen von 43 mmol/l Kalzium,

31 mmol/l Phosphat und 0,09 ppm Fluorid ausreichen, um eine Übersättigung mit Fluorapatit zu erreichen. Orangensaft mit zugesetztem Kalzium und Phosphat hatte somit einen starken präventiven Effekt.

Dieser Effekt wurde auch in situ von Hughes et al. (1999) beobachtet. Als Testsubstanzen dienten ein Konzentrat aus schwarzem Johannisbeersaft mit Kalzium (195 ppm Ca), schwarzem Johannisbeersaft mit Kalzium (400 ppm Ca), ein Konzentrat aus Apfel-Johannisbeersaft, ein Konzentrat aus Orangensaft und Mineralwasser. 50 ml des jeweiligen Konzentrats wurden mit 200 ml Wasser verdünnt. Probanden nahmen täglich vier mal zehn Minuten über 15 Tage 250 ml des jeweils zu testenden Getränkes auf. Sie trugen intraorale Halterungen mit eingearbeiteten Schmelzproben. Der Substanzverlust wurde profilometrisch bestimmt. Nach 15 Tagen lag der Substanzverlust für den Orangensaft am höchsten (8,29 μm), gefolgt vom Apfel-Johannisbeersaft (2,04 μm). Unter den Johannisbeersäften mit Kalzium fanden sich keine signifikanten Unterschiede (0,28 und 0,35 μm). Die erosiven Substanzverluste waren bei den mit Kalzium angereicherten Johannisbeersäften im Vergleich zum Apfel-Johannisbeersaft siebenmal und zum Orangensaft sogar um 20 mal geringer.

Getränke, die mit Kalzium angereichert wurden, sind bereits auf dem Markt erhältlich, wie z.B. der Orangensaft Hohes C plus Calcium®.

Der Orangensaft enthält einen Kalziumanteil von 135 mg/100 ml. Dieser Wert ist mit den Kalziumanteilen in den oben genannten Arbeiten vergleichbar. Larsen et al. (1999) reicherten die Getränke umgerechnet mit 169 mg/100 ml und Hughes et al. (1999) mit 40 mg/ml Kalzium an. Die Konzentrationen von Kalzium und Phosphat im Orangensaft sind auch denen in Milchprodukten ähnlich. In den Studien konnte gezeigt werden, dass durch die Modifikation der Getränke mit Kalzium Erosionen vermindert und zum Teil sogar vermieden werden konnten.

Patienten mit erosiven Zahnhartsubstanzverlusten ist deshalb eine Ernährung mit Lebensmitteln und Getränken, die Kalzium enthalten, zu empfehlen.

Eine weitere Möglichkeit der Produktmodifikation ist der Zusatz von Fluorid, wobei hier die Dosierung eine entscheidende Rolle spielt. Ziel einer in vitro Studie von Attin et al. (1997a) war u.a., den Einfluss von

Fluorid in einem sauren Getränk auf die Entstehung von erosionsbedingten Schmelzverlusten zu untersuchen. Polierte Rinderschmelzproben wurden dafür sechsmal einem De-/Re-mineralisationszyklus ausgesetzt. Die Demineralisation zur Erzeugung einer Erosion erfolgte für fünf Minuten mit dem Getränk Sprite Light®, die anschließende Remineralisation durch Einlegen der Proben für eine Minute in künstlichen muzinhaltigen Speichel. Bei 17 Proben wurde dem Getränk 1 ppm Fluorid zugegeben. 17 Proben, bei denen das Getränk unfluoridiert war, dienten zur Kontrolle. Nach drei Zyklen wurden alle Proben für 12 Stunden in nicht fluoridiertem Speichel zwischengelagert. Vor Durchführung der Testzyklen, vor und nach der Zwischenlagerung und nach sechs Zyklen wurde die Oberflächenmikrohärte nach Vickers bestimmt. Nach sechs Zyklen lag zwischen den mit fluoridiertem Getränk behandelten Proben und der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied vor. Eine Fluoridanreicherung von 1,3 ppm zu erosiven Getränken (Sprite Light®; pH 2,9) beeinflusste den Schweregrad oberflächlicher Schmelzerweichungen offensichtlich nicht. Bei einer Demineralisationslösung mit einem sehr niedrigen pH-Wert scheint ein niedrig dosierter Fluoridzusatz nicht ausreichend zu sein, um Schmelzdemineralisationen zu verhindern.

Auch Amaechi et al. (1998) konnten den geringen Effekt von niedrig-dosiertem Fluorid (0,5 ppm) in vitro bestätigen, sie fanden jedoch heraus, dass kombiniertes Xylit/Fluorid einen additiven Effekt auf die Reduktion von Erosionen hatte. Sie untersuchten dazu an Rinderschmelzproben den Effekt von Xylit, Fluorid und kombinierten Xylit/Fluorid auf die Entstehung von Erosionen durch puren Orangensaft. Dazu wurden frisch extrahierte Rinderfrontzähne vertikal in vier gleiche Teile geschnitten. Jede Probe wurde dann mit einem säureresistenten Nagellack überzogen. Nur ein Schmelzfenster auf der labialen Zahnoberfläche wurde frei gelassen.

Die Proben wurden in vier Gruppen aufgeteilt, wobei jede Gruppe eine Probe von jedem gesammelten Zahn enthielt. Als erosive Substanzen dienten (A) Orangensaft, (B) Orangensaft mit entweder Xylit (25%), oder (C) Fluorid (0,5 ppm), oder (D) Orangensaft mit Xylit/Fluorid (25% und 0,5 ppm). Die Proben wurden sechsmal pro Tag für fünf Minuten einer der erosiven Substanzen ausgesetzt und zwischen den Versuchen nachts 12

Stunden in künstlichem Speichel aufbewahrt. Der Mineralverlust in Gruppe (D) war im Vergleich zu Gruppe (A) signifikant geringer. Die Werte für den Mineralverlust lagen in folgender Rangordnung: Gruppe D < Gruppe C < Gruppe B < Gruppe A. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (Orangensaft) wurde bei Gruppe D (Orangensaft mit Xylit/Fluorid) ein um 38% geringerer Substanzverlust beobachtet. Die Reduktion von Erosionen durch Fluorid oder Xylit allein war jedoch nur gering (8,6% und 3%).

In tierexperimentellen Studien konnte in diesem Zusammenhang gezeigt werden, dass Fluorid einen protektiven Charakter bei der Entstehung von Erosionen besitzt (Mc Clure, 1941; Restarski et al., 1945; Shabat et al., 1975; Sovari et al., 1988). Restarski et al. (1945) zeigten, dass Natriumfluorid in einer Konzentration von 2 ppm das Ausmaß der Erosion von Fruchtgetränken um 30%, in einer Konzentration von 45 ppm sogar um 40% reduzieren konnte.

Reussner et al. (1975) bemerkten in einem ihrer vier Experimente, dass die Erosionen bei Ratten durch 0,03% Natriummonofluorophosphat um 36% gehemmt werden konnten. In einem Versuch von Sovari et al. (1988) wurde Ratten ad libitum eine Mixtur eines Sportgetränkes, versehen mit 15 ppm Fluorid, für 42 Tage verabreicht. Es zeigte sich, dass die Ratten, denen 15 ppm Natriumfluorid im Getränk verabreicht wurden, 13% mehr intakte Schmelzoberflächen im Vergleich zur Gruppe, die Getränke ohne Fluorid bekam, aufwiesen.

In einer klinischen Studie wurde Fluorid als ein Zusatz von purem Orangensaft (pH 3,5) getestet. Der mit 0,1 ppm und 10 ppm als NaF angereicherte Orangensaft und ein Kontrollgetränk wurden über drei Jahre hinweg Versuchsgruppen von sechs bis neun Jahre alten Kindern gegeben. Obwohl das vorrangige Ziel die Verhinderung der Karies war, zeigte sich, dass durch die Zugabe von 0,1 ppm und 10 ppm Fluorid zum Orangensaft Erosionen verhindert werden konnten (Gedalia et al., 1981).

In tierexperimentellen Studien wurde Fluorid in Dosierungen von 2-125 ppm den erosiven Getränken zugesetzt. Diese Mengen lagen damit zum Teil deutlich über der in der Trinkwasserverordnung festgelegten Höchstgrenze von 1,5 ppm Fluorid. Eine Kontrolle der Gesamtfluoridaufnahme würde sich jedoch schwierig gestalten, falls fluoridierte

Getränke frei auf dem Markt angeboten würden. Wie schon erwähnt, stieg der Konsum von erosiven Getränken im letzten Jahrzehnt stark an. Besonders wenn Kinder bis zum achten Lebensjahr mit Fluorid angereicherte Getränke vermehrt konsumieren würden, könnte dies zu einer Überdosierung von Fluorid führen. Jede Form der Fluoridapplikation (z.B. Trinkwasserfluoridierung, Fluoridtabletten, fuoridhaltige Zahnpasten) kann bei relativer Überdosierung bei Kindern die Schmelzbildung beeinträchtigen und zu Fluorose führen. Bei täglicher Fluoridzufuhr von mehr als 1,5 mg/Tag bis zu einem Alter von acht Jahren kann es zu fluorotischen Schmelzflecken im bleibenden Gebiss kommen. Auch wiederholte oder einmalige Spitzenwerte (Verschlucken von Zahnpaste) können Fluorose zur Folge haben. Eine Fluoridzufuhr von 0,02 mg/kg Körpergewicht ist aus toxikologischer Sicht aber völlig unproblematisch (Hellwig et al., 1995).

In der Studie von Sovari et al. (1988) wurde einem Getränk z.B. 15 ppm Fluorid zugesetzt. Dies entspricht etwa 15 mg Fluorid in einem Liter Erfrischungsgetränk. Falls nun ein Kind von acht Jahren ein Liter dieses Getränkes pro Tag konsumieren würde, entspräche dies 15 mg Fluorid/Tag. Dies liegt weit über dem mit 1,5 mg/Tag angegebenen Grenzwert.

2.2.2 Symptomatische Therapie

Da jedoch bei Personengruppen mit Risikofaktoren eine kausale Therapie (Vermeidung der sauren Noxe) oftmals nicht möglich ist, muss auf die symptomatische Therapie zurückgegriffen werden. Zur symptomatischen Therapie gehört die Erhöhung der Säureresistenz durch Härtung und Remineralisation der Zahnhartsubstanz (Imfeld 1996).

Zusätzlich zu dem chemisch induzierten Substanzverlust durch Erosionsvorgänge ist ein mechanischer Substanzabtrag durch Abrasion zu vermeiden. Davis und Winter (1980) zeigten anhand von Schmelzproben, dass durch Bürsten mit Wasser oder mit Wasser und Zahnpaste nach einem erosiven Angriff eine beschleunigte Abrasion des

Schmelzes auftrat. Das Ausmaß der Abrasion hing von der Dicke der demineralisierten Schmelzschicht ab.

Um eine optimale Remineralisation der erodierten Zahnhartsubstanz zu erreichen, schlugen Jaeggi und Lussi (1999) für Patienten mit einem Risiko für erosive Zahnhartsubstanzverluste vor, den Zeitpunkt des Zahnputzvorganges auf eine Stunde nach dem Säureangriff zu verlegen, um den Substanzverlust zu minimieren. Sie erzeugten erosive Läsionen, indem sie Stücke von der bukkalen Oberfläche menschlicher Prämolaren für drei Minuten in eine Zitronensäurelösung (0,1 M, pH 3,5) eintauchten. Anschließend wurden die Proben in intraorale Halterungen eingebracht. Die Proben wurden für null Minuten (entspricht dem sofortigen Zähnebürsten nach Erosion), 30 oder 60 Minuten dem oralen Milieu von Probanden (Durchschnittsalter: 22 Jahre) ausgesetzt. Anschließend wurden die Proben für 30 Sekunden mit der jeweils bevorzugten Putztechnik geputzt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Zahnputzabrasion nach 30 Minuten intraoraler Exposition um etwa 14% und nach 60 Minuten sogar um etwa 25% niedriger lagen als nach null Minuten.

In einer Studie von Attin et al. (2000) wurde ebenfalls der Zusammenhang zwischen Remineralisationsdauer und Bürstenabrasion untersucht. Schneidezähne von Rindern wurden eine Minute mit Sprite Light® demineralisiert und danach gar nicht, zehn Minuten, 60 Minuten oder 240 Minuten in künstlichem Speichel gelagert. Danach wurden die Proben gebürstet und anschließend profilometrisch auf Substanzverlust untersucht. Die Abrasionsresistenz stieg mit länger werdender Remineralisationsdauer an; nach 60 Minuten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf Substanzverlust. Trotzdem ist sogar nach einer Stunde Remineralisationszeit die Abrasion von vorher erodiertem Schmelz im Vergleich zu normalem Schmelz erhöht. Erst nach 240 Minuten wurde eine annähernde Wiedererhärtung des Zahnschmelzes beobachtet.

Westerfeld (2002) konnte in vitro zeigen, dass beim Bürsten vor dem erosiven Angriff der Zahnhartsubstanzverlust geringer ausfiel, als beim sofortigen Bürsten nach dem Säureangriff. Dazu wurden 225 Schmelzproben von menschlichen Weisheitszähnen parallel zur

Oberfläche präpariert, glatt poliert und zufällig auf neun Gruppen von je 25 Proben aufgeteilt. Innerhalb fünf Tagen wurden die Proben für 30 Minuten/Tag in eine 0,05 M Zitronensäurelösung eingelegt und für zwei Minuten/Tag mit einer elektrischen Zahnbürste geputzt. Zwischenzeitlich befanden sich die Proben in einer remineralisierenden Lösung. Das Putzen zwei Stunden nach dem erosiven Angriff zeigte keinen signifikanten Unterschied. Bei den Proben, die vor dem Säureangriff gebürstet wurden, konnten die Zahnhartsubstanzverluste um 25% verringert werden. Unter ähnlichen Bedingungen wurde auch eine in situ Studie mit fünf Probanden zu dieser Fragestellung durchgeführt (Friedrich, 2001). Dazu wurden acht Proben in die bukkale Seite einer Trägerapparatur gesetzt und sechsmal fünf Tage intraoral getragen. Die Proben wurden zweimal 20 Minuten/Tag extraoral mit einer 0,05 M Zitronensäurelösung erodiert und intraoral zweimal 30 Sekunden/Tag mit einer elektrischen Zahnbürste geputzt.

Diese Studie bestätigte die Ergebnisse der in vitro Studie von Westerfeld (2002), denn auch hier zeigte sich, dass beim Bürsten vor dem erosiven Angriff der Zahnhartsubstanzverlust um etwa 14% geringer ausfiel, als beim sofortigen Bürsten nach dem Säureangriff. Wenn auch die Versuchsbedingungen der genannten Studien unterschiedlich sind, ist es bei allen Studien zu einem geringeren Substanzverlust mit längerer Wartezeit zwischen dem erosiven Angriff und dem Zähneputzen gekommen. Die Empfehlung, die Zähne vor einem erosiven Angriff zu bürsten, scheint praktikabel zu sein.

Lokale Fluoridapplikationen können die Mikrohärtigkeit der Zahnhartsubstanz erhöhen, somit ist mit einem geringeren mechanischen Substanzverlust nach einem erosiven Angriff zu rechnen. Bartlett et al. (1994) untersuchten in vitro den Effekt von Fluorid in Zahnpasten in bezug auf die Bürstabrasionen. Dazu wurden extrahierte menschliche Prämolaren bucco-lingual getrennt und in eine Halterung eingebracht. Diese verblieb fünf Minuten in einer Zitronensäurelösung von 6% (pH 3,5). Die Proben wurden anschließend 200 mal mit einer elektrischen Zahnbürste entweder mit einer Zahnpaste mit oder ohne Fluorid gebürstet. Dieser Vorgang wurde 720 mal wiederholt. Die Resultate zeigten, dass bei Gebrauch von

fluoridierter Zahnpaste bis zu 41% weniger Zahnhartsubstanzverlust auftrat als bei Gebrauch von unfluoridierter Zahnpaste. Ein größerer Effekt wurde mit einem sauren Fluoridgel erzielt (Attin et al., 1999). Dazu wurden Schmelzproben von Rinderfrontzähnen viermal alternierend mit Sprite Light® (5 min) erodiert und mit künstlichem Speichel (1 min) remineralisiert. Anschließend wurden die Proben mit einer automatischen Zahnputzmaschine (2000 Putzbewegungen, 2,5 N Putzdruck) gebürstet und eine Minute im Speichel gelagert. Als Putzmedium diente eine Mischung von 5 ml künstlichem Speichel mit 1 ml des jeweils getesteten Gels. Es wurden folgende Gele benutzt: Gel A (pH 7,0) und Gel B (pH 4,5) waren unfluoridiert, Gel C (pH 7,0) und D (Elmex® gelée; pH 4,5) enthielten 1,25% F^- . Nach zwei Zyklen wurden die Proben für acht Stunden im künstlichen Speichel aufbewahrt. Die Abrasion wurde dann profilometrisch bestimmt. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die erodierten Schmelzproben, die mit einem sauren Fluoridgel behandelt wurden, eine höhere Abrasionsresistenz aufwiesen als die, die mit unfluoridiertem oder einem Gel mit neutralem pH-Wert behandelt wurden. Auch Westerfeld (2002) konnte in vitro zeigen, dass der Substanzverlust nach einem erosiven Angriff und unmittelbarem Putzen danach mit einer fluoridhaltigen Zahnpaste im Vergleich zu einer unfluoridierten Zahnpaste um etwa ein Sechstel reduziert werden konnte. Der Gebrauch eines zusätzlichen Fluoridgels (5 Minuten/Tag) zu der fluoridhaltigen Zahnpaste konnte den Zahnhartsubstanzverlust sogar um ein Viertel verringern. In situ konnte der Substanzverlust bei den Proben, die nach dem erosiven Angriff unmittelbar mit einer fluoridierten Zahnpaste ($51,2 \pm 13,2 \mu\text{m}$) geputzt wurden, im Vergleich zu der unfluoridierten Zahnpaste ($79,0 \pm 11,5 \mu\text{m}$) um etwa ein Drittel verringert werden. Bei Proben, die zusätzlich zur fluoridhaltigen Zahnpaste noch an Tag eins und drei mit einem Fluoridgel geputzt und für zweimal fünf Minuten/ Tag mit einer fluoridhaltigen Mundspüllösung gespült wurden ($41,1 \pm 6,7 \mu\text{m}$), lag der Substanzverlust genau so hoch wie bei den Proben, die nur erodiert wurden ($45,5 \pm 13,6 \mu\text{m}$). Die Abrasionen durch den Putzvorgang nach einem erosiven Angriff konnten somit ganz verhindert werden (Friedrich, 2001). Deshalb kann Patienten mit erosiven Zahnhartsubstanzverlusten

zumindest der Gebrauch einer fluoridhaltigen Zahnpaste, besser jedoch der Gebrauch eines Fluoridgels, empfohlen werden.

Westerfeld (2002) konnte *in vitro* zeigen, dass der beim Zähneputzen ausgeübte Druck jedoch keine so bedeutende Rolle beim Verlust von Zahnhartsubstanz spielt. Innerhalb fünf Tagen wurden Proben für 30 Minuten/Tag in eine 0,05 M Zitronensäurelösung eingelegt und für zwei Minuten/Tag mit einer elektrischen Zahnbürste mit unterschiedlichem Anpressdruck geputzt (1 N, 2 N, 3 N und 4 N). Zwischenzeitlich befanden sich die Proben in einer remineralisierenden Lösung. Die Variationen des Druckes zeigten keine signifikanten unterschiedlichen Zahnhartsubstanzverluste.

Um Abrasionen der erweichten Zahnhartsubstanz möglichst gering zu halten, sollten die Patienten „sanfte“ Mundhygienemaßnahmen treffen, wie z.B. der Gebrauch einer schonenden Zahnputztechnik, einer weichen oder mittleren Zahnbürste und einer wenig abrasiven Zahnpaste. Dabei ist auf eine ausreichende Mundhygienekontrolle zu achten, damit die Zähne genügend plaquefrei bleiben.

Eine weitere Möglichkeit zur symptomatischen Therapie von Erosionen ist die lokale Fluoridapplikation, wie z.B. fluoridierte Zahnpaste, Mundwasser und Gel. Es gibt nur wenige Studien zur lokalen Applikation und deren Effektivität auf die erodierte Zahnhartsubstanz.

Attin et al. (1997a) untersuchten *in vitro* den Einfluss von in der Remineralisationsphase zum künstlichen Speichel zugegebenem Fluorid auf die Entstehung von erosionsbedingtem Oberflächenhärteverlust des Schmelzes. Die Speichelfluoridkonzentration wurde so gewählt wie sie bei der Verwendung einer fluoridhaltigen Zahnpaste während des Zähneputzens auftritt. Die Proben wurden auch hier für fünf Minuten mit Sprite Light® erodiert. Die anschließende Remineralisation erfolgte durch Einlegen der Proben für eine Minute in künstlichen muzinhaltigen Speichel. Dabei wurde bei 17 Proben dem Speichel 200 ppm Fluorid beigelegt. 17 Proben ohne Fluorid im Speichel dienten zur Kontrolle. Nach drei Zyklen wurden alle Proben für 12 Stunden in nicht fluoridiertem Speichel zwischengelagert. Bei den Proben wurde vor Durchführung der Testzyklen, vor und nach der Zwischenlagerung und nach sechs Zyklen

die Oberflächenmikrohärte nach Vickers bestimmt. Es zeigte sich kein Unterschied im Härteverlust vor und nach der Zwischenlagerung; nach sechs Zyklen war der Härteverlust im Vergleich zur Kontrollgruppe am geringsten. Durch den mit Fluorid (200 ppm) angereicherten Speichel war es möglich, den erosionsbedingten Oberflächenhärteverlust von Zahnschmelz um etwa 25% zu verringern. Die einmalige, kurzzeitige Anwendung von Fluorid nach einer Erosion ohne einen anschließenden ausreichenden Kontakt des Schmelzes mit Speichel hatte hingegen keinen deutlichen Einfluss auf säurebedingte Schmelzveränderungen, wie die bis zur Zwischenlagerung erzielten Ergebnisse gezeigt haben. Sie nahmen deshalb an, dass das vom fluoridierten Speichel auf den Schmelz wirkende Fluorid erst nach längerer Exposition in einer remineralisierenden Lösung (z.B. Speichel) effektiv die Ausprägung von Erosionen hemmt.

Die Effektivität einer Langzeitapplikation von einem Fluoridlack oder einer Fluoridlösung vor einem Säureangriff konnte von Sovari et al. (1994) demonstriert werden. In ihrer Studie wurden menschliche Schmelzproben präpariert und für 24 Stunden mit Duraphat® Lack (2,26% F^-) oder für 48 Stunden mit NaF Lösung (1,2% F^-) fluoridiert und anschließend für 15 Minuten in ein Colageränk (pH 2,6) eingetaucht. Nach der Fluoridapplikation und nach verschiedenen Einwirkzeiten (1,5 und 15 Minuten) des erosiven Getränks wurde die Oberflächenmikrohärte nach Vickers bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass beide Fluoridapplikationen den Verlust der Mikrohärte signifikant verringern konnten. Davis und Winter (1977) untersuchten den protektiven Effekt einer fluoridhaltigen Zahnpaste, die vor einem erosiven Angriff angewendet wurde. Für ihre Studie verwendeten sie Schmelzproben, die abgesehen von einem 1 mm weitem Fenster mit einem adhäsiven PVC Tape maskiert wurden. Die Proben wurden für eine Minute bei 25° C in eine Lösung von einem Teil Zahnpaste und drei Teilen Wasser eingetaucht und anschließend für zehn Minuten mit Orangensaft erodiert. Der Substanzverlust wurde profilometrisch bestimmt. Es konnte gezeigt werden, dass die fluoridierte Zahnpaste vor dem Säureangriff die erosiven Effekte um 32% reduzieren konnte. Das Ziel von Ganss et. al. (2001) war es, den Effekt von Fluorid

in vitro auf das Fortschreiten von erosiven Demineralisationen im Zahnschmelz und im Dentin zu bewerten. Sie verwendeten ein zyklisches De- und Remineralisationsmodell. Der Mineralgehalt wurde mit der longitudinalen Mikroradiografie bestimmt. Menschliche Weisheitszähne wurden für die Schmelz- und Dentinproben verwendet. Über fünf Tage wurden alle Proben für sechsmal zehn Minuten/Tag in eine 0,05 M Zitronensäurelösung (pH 2,3) eingetaucht und zwischendurch in einer remineralisierenden Lösung gelagert. Es wurden folgende Fluoridierungsmaßnahmen ausgewählt: Gruppe 1 (keine Fluoridapplikation), Gruppe 2 (Zahnpastenfluoridierung für dreimal fünf Minuten/ Tag mit NaF; 0,15% F⁻), Gruppe 3 (wie Gruppe 2 und zusätzliche Applikation einer Fluoridlösung mit Olaflur/SnF₂; 0,025 F⁻) dreimal fünf Minuten/Tag und an Tag eins und drei mit einem Fluoridgelee mit Olaflur/NaF; 1,25% F⁻) für einmal fünf Minuten. Nach jedem Tag wurde der Mineralgehalt (µm) bestimmt. Es stellte sich heraus, dass die intensive Fluoridierung den Mineralverlust im Zahnschmelz um 20% im Vergleich zur Kontrollgruppe reduzieren konnte. Als Wirkungsmechanismus wird die Präzipitation eines CaF₂-ähnlichen Niederschlags diskutiert. Wenn auch die Resultate der in vitro Studie wenig ermutigend sind, so kann unter Mundbedingungen die CaF₂-Schicht stabilisiert werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, in einem mehrtägigen De- und Remineralisationszyklus die Wirksamkeit von Fluoridierungsmaßnahmen unter Mundbedingungen zu überprüfen.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Probanden

3.1.1 Auswahlkriterien

In die Versuchsreihe wurden vier Probanden eingeschlossen.

Versuchsperson 1: 23 Jahre, weiblich

Versuchsperson 2: 23 Jahre, weiblich

Versuchsperson 3: 50 Jahre, weiblich

Versuchsperson 4: 24 Jahre, männlich

Auswahlkriterien für die Teilnahme waren:

- * Zustimmung zur Teilnahme und ausreichende Compliance
- * keine schweren Allgemeinerkrankungen
- * keine Medikamenteneinnahme (bes. solche, die die Speichelfließrate hätten beeinflussen können)
- * kein herausnehmbarer Zahnersatz
- * eine mindestens durchschnittliche Mundhygiene
- * ein kariesfreies und ausreichend versorgtes Gebiss

Die Probanden wurden mündlich und schriftlich über den Ablauf und das Ziel der Untersuchung informiert.

3.2.1 Analyse der Speichelparameter

Die Speichelproben wurden von jedem Probanden immer zur gleichen Uhrzeit mindestens eine Stunde nach der letzten Nahrungsaufnahme entnommen und bis zur Weiterverarbeitung bei -18°C eingefroren.

Zur Beurteilung der Speichelqualität und -menge wurde von jedem Probanden der pH-Wert, die Pufferkapazität sowie die unstimulierte und stimulierte Fließrate bestimmt.

Zu Beginn wurde jedem Probanden ein skaliertes Messgefäß, eine Stoppuhr und ein Trichter ausgehändigt. Zur Bestimmung der unstimulierten Speichelfließrate wurde nach initialem Schlucken und Starten der Stoppuhr der sich spontan sammelnde Speichel aufgefangen. Dies wurde solange fortgeführt, bis die Probanden 7 ml Speichel gesammelt hatten; die Uhr wurde bei dieser Marke angehalten. Zur Bestimmung der stimulierten Speichelfließrate wurde den Probanden ein Paraffinblock (Mat. 1) zur Speichelsimulation ausgehändigt. Erneut wurde zuvor geschluckt und die Uhr gestartet, um den anfallenden Speichel bis zur 7 ml Marke zu sammeln. Der pH-Wert wurde elektrometrisch mittels einer ionenselektiven Elektrode bestimmt (Mat. 2).

In Anlehnung an Ericsson (1959) wurde die Pufferkapazität der Speichelproben gemessen:

Nach dem Auftauen der Proben bei Raumtemperatur wurde diesen nach zweimaligem Umdrehen des Sammelröhrchens 1 ml Speichel entnommen. Diesem Speichel wurde 3 ml HCL (0,005 N) zugesetzt und über 10 Minuten mit Hilfe eines Magnetrührers (300 rpm) durchmischt. Um das dabei entstandene CO₂ entweichen zu lassen, wurde zehn Minuten gewartet, bevor anschließend der pH-Wert der Lösung mit dem pH-Meter gemessen wurde.

3.2 Herstellung der Schmelzproben

3.2.1 Zahnauswahl

Zur Durchführung der Versuchsreihe wurden ausschließlich operativ entfernte, knöchern impaktierte, menschliche dritte Molaren verwendet, die noch keinen Kontakt zur Mundhöhle gehabt haben. Gelagert wurden diese Zähne direkt nach dem chirurgischen Eingriff in einer wässrigen gesättigten Thymollösung (Chem.1).

3.2.2 Anfertigung der Zahnproben

Nach Säuberung der Zähne von eventuell anhaftenden Weichgewebsresten wurden die Wurzeln mit Hilfe des Exakt-Trennschleifsystems (Mat. 3) von den Zahnkronen getrennt. Dazu wurden die Zähne mit Hilfe eines lichthärtenden Kunststoffklebers (Chem. 2) mit ihrer Okklusalfäche auf einem Plexiglasträger (Mat. 4) fixiert. Nach Einspannen des Trägers wurden die Wurzeln bei einer Geschwindigkeit der Bandsäge auf Stufe fünf (mittlere Geschwindigkeit ca. 200 m/min) und einer Belastung des Schlittens von 50 g abgetrennt. Während des Sägevorgangs war auf ausreichende Wasserkühlung zu achten.

Anschließend wurden ca. 400 µm dicke Schmelzproben parallel zur Zahnoberfläche präpariert, die zunächst in der Thymollösung in einem für jeden Zahn entsprechenden Behälter verwahrt wurden. Die Herstellung der ca. 400 µm dicken Schmelzproben geschah im Einzelnen folgendermaßen:

Die Zahnkrone wurde mit der Schmelzfläche nach oben erneut auf der Trägerplatte fixiert und in das Mikroschleifsystem (Mat. 5) mit Hilfe der Vakuumpumpe eingespannt. Die Drehscheibe wurde mit feuchtem Schleifpapier P 800 (Mat. 6) bestückt und der Trägerhalter mit Gewichten versehen. An der Mikrometerschraube des Schleifgerätes wurde ein Abtrag von ca. 300 µm eingestellt, um die Zahnwölbung abzutragen und eine plane Schmelzfläche zu schaffen. Mit Hilfe des Exakt-Trennschleifsystems wurden äußerst ebene Trennflächen mit sehr geringer Oberflächenrauhtiefe erreicht. Anschließend wurde die Schmelzfläche mit einem feinen Schleifpapier P 1000 (Mat. 6) etwa eine Minute lang geglättet und zuletzt mit dem feinsten Schleifpapier P 4000 (Mat. 7) auf Hochglanz poliert. Nach der Politur wurden die Schmelzproben mit einem scharfen Skalpell (Mat. 8) vorsichtig von der Plexiglasscheibe abgelöst und mittels einer Mikrometerschraube (Mat. 9) gemessen; sie betrug in der Regel 1000 µm. Mit der geschliffenen Seite nach unten wurden die Proben erneut fixiert und eingespannt, um sie auf die gewünschte Dicke von ca. 400 µm herunter zu schleifen. Dazu wurde das gröbere Schleifpapier (P 800) benutzt. Bei Erreichen der gewünschten Dicke wurde die Schmelzprobe erneut von der Plexiglasscheibe gelöst

und der Abtrag mit der Mikrometerschraube nochmals überprüft. Die Probe wurde nun von eventuell anhaftenden Kunststoffresten ganz befreit und, falls die gemessenen Werte zwischen 300 und 450 μm lagen, in mit Thymollösung gefüllten Behältern (Mat. 10) gelagert. Dabei wurden alle Proben von demselben Zahn in einem separaten, speziell gekennzeichneten und nummerierten Behälter verwahrt.

Auf diese Weise wurden aus den 32 Weisheitszähnen jeweils vier Schmelzproben pro Zahn mit einer endgültigen Probenstärke von ca. 400 μm und einer durchschnittlichen Größe von 2 - 3 mm^2 gewonnen (Abb. 1).

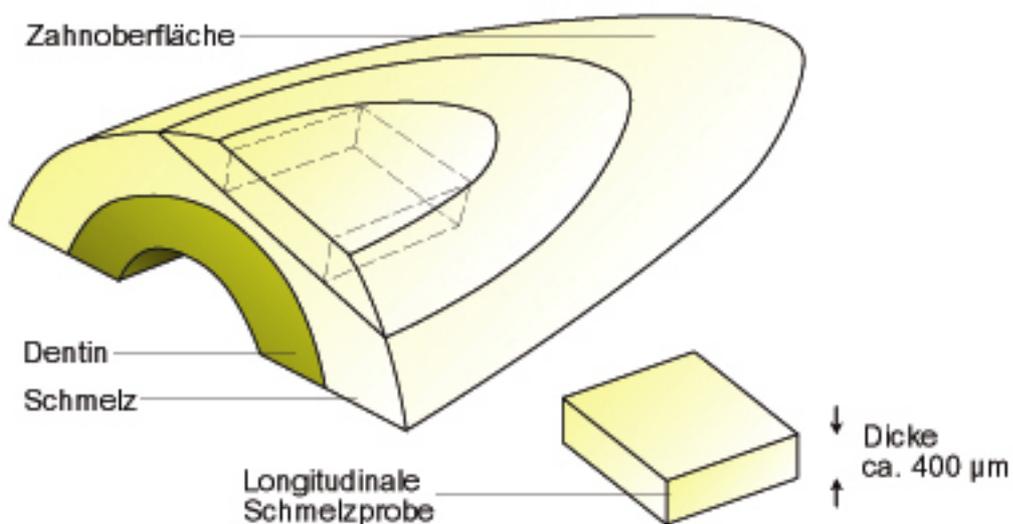


Abb. 1: Longitudinale Schmelzprobe (de Josselin de Jong et al., 1987)

3.2.3 Herstellung der Schmelzprobenträger

Für diese Versuchsreihe in situ mussten die Schmelzproben einerseits in die Gaumenplatten und andererseits in die LMR-Träger aus Polymethylmethacrylat (Mat. 11) eingesetzt werden können. Um die Schmelzproben identisch reponieren zu können, wurden sogenannte Schmelzprobenträger angefertigt, die einerseits der Größe der

Aussparung des LMR-Trägers und andererseits der Größe der Aussparung der Gaumenplatte entsprachen. Dazu wurden die LMR-Träger mit einer Latexisolierung (Mat. 12) gegen den lichthärtenden Kunststoff isoliert und getrocknet, bevor der lichthärtenden Kunststoffkleber mit einem Holzstäbchen in die ganze Aussparung des LMR-Trägers aufgetragen wurde. Das Schmelzstück durfte nicht größer als 4 x 4 mm ausfallen, um optimal in den LMR-Probenhalter zu passen. Zu große Stücke wurden entweder mit einem Zylinderdiamanten im schnelldrehenden Winkelstück (Mat. 13) entsprechend reduziert oder in der Mitte mit einem Skalpell gebrochen. Die Schmelzoberfläche wurde mit Ethanol 70% (Chem. 3) und Wattetupfern vorsichtig gereinigt und unter dem Stereolichtmikroskop (Mat. 14) kontrolliert. Anschließend wurde das Schmelzstück mittels einer Pinzette waagrecht in zentraler Lage so positioniert, dass die Probe parallel zum unteren Probenhalterrund ausgerichtet war (Abb. 2a).



Abb. 2a: LMR-Probenhalter (oben) und nummerierter Schmelzprobenträger (unten)

Außerdem war darauf zu achten, dass der Schmelzprobenträger mit der Höhe des LMR-Trägers übereinstimmte, um mögliche Komplikationen beim Röntgenvorgang auszuschließen.

Der Kleber wurde mit einer Kaltlichtsonde (Mat.15) ausgehärtet und der Schmelzprobenträger aus dem LMR-Träger vorsichtig mit einem Skalpell entfernt. Eventuell zurückgebliebene Kleberreste auf der Schmelzprobe wurden erneut entfernt und die Isolierung durch einfaches Abziehen beseitigt. Mit einem Diamantschreiber wurde auf der eingebetteten Probe eine entsprechende Nummer eingeritzt, welche dann mit einem wasserfesten Stift auf den LMR-Probenhalter übertragen wurde. Nach erneuter Reinigung mit Ethanol 70% und einem Wattetupfer wurde die eingebettete Schmelzprobe innerhalb des LMR-Trägers in ihrem entsprechend markierten Plastikbehälter in der Thymollösung gelagert.

3.2.4 Probenträgerapparatur

Zur intraoralen Lagerung der Versuchsapparatur wurden vier Gaumenplatten mit je vier Knopfankern zur Befestigung im Oberkiefer der Probanden hergestellt. Diese Platten beinhalteten jeweils acht Aussparungen für die Schmelzprobenträger, die jeweils in die Träger für die longitudinale Mikroradiografie zurückgesetzt werden konnten. Dazu wurden von allen vier Versuchspersonen jeweils Abformungen (Mat. 16) des Oberkiefers und des Unterkiefers als Gegenbiss vorgenommen, welche sofort mit Superhartgips (Mat. 17) ausgegossen wurden. Nach dem Sockeln und Ausarbeiten der Modelle mit einer Gipsfräse wurde die Planung für die Zähne erstellt, die mit gebogenen Drahtklammern (Mat. 18) versehen werden sollten. Zur Befestigung wurden vier Knopfanker gewählt, welche zwischen die Zähne gesetzt wurden, die in der Okklusion die geringsten Hindernisse aufwiesen. Auf diesen Modellen wurden dann nacheinander aus Streukunststoff (Mat. 19) vier Gaumenplatten angefertigt und im Drucktopf ausgehärtet. Anschließend wurden die Platten mit einer Kunststofffräse, Schmirgelpapier (Mat. 20) und zuletzt am Poliermotor mit einer Polierpaste (Mat. 21) ausgearbeitet und auf Hochglanz gebracht. Um Platz für die Schmelzprobenträger zu

schaffen, wurden mit der Kunststofffräse unter einem Mikroskop jeweils acht kleine Aussparungen in die Plattenbasis geschliffen und ebenfalls ausgearbeitet und poliert (Abb. 2b).



Abb. 2b: Gaumenplatte auf Gipsmodell mit den Probenträgern

3.3 Versuchsaufbau und -durchführung

3.3.1 Erzeugung der Erosionen

Es wurde Zitronensäure (Chem. 4) ausgewählt, da diese häufig in der menschlichen Nahrung vorkommt. Die 0,05 M Zitronensäure wurde aus Citronensäure-Monohydrat, chemische Formel: $C_6H_8O_7 \times H_2O$, angesetzt. Der pH-Wert der frisch angesetzten Lösung betrug pH 2,3. Die Lösung wurde für jeden Versuch neu angesetzt und ihr pH-Wert wurde zusätzlich am Ende jeder Versuchsreihe überprüft. Die Messung des pH-Wertes erfolgte mit Hilfe einer ionenselektiven Elektrode (Mat. 22) bei Zimmertemperatur. Der pH-Wert blieb konstant bei 2,3, dennoch wurde nach jeweils fünf Tagen Versuchszeit die restliche Menge an Zitronensäure verworfen und für jeden Probanden neu angesetzt.

3.3.2 Fluoridprodukte

Es kamen ausschließlich Mittel der Firma GABA GmbH zum Einsatz.

- Fluoridhaltige Zahnpaste Elmex® [Aminfluorid/ Olaflur (N'-octadecyltrimethylendiamin-N,N,N' tris (2-ethanol)-dihydrofluorid), 1250 ppm F⁻ (0,125% F⁻); pH: 4,6 (10% in Wasser)]
- Fluoridfreie Zahnpaste Aronal® (hatte noch kein Fluoridgehalt zum Zeitpunkt der Arbeit; pH: 6,9)
- Fluoridgel Elmex® gelée [Gesamtfluoridgehalt: 12500 ppm (1,25% F⁻); Aminfluorid/Olaflur, 0,23% F⁻; Aminfluorid/Dectaflur (9-octadecenylamin-hydrofluorid), 0,02% F⁻; Natriumfluorid, 1,0% F⁻; pH: 4,8 (10% in Wasser)]
- Fluoridhaltige Meridol® Mundspüllösung [Aminfluorid/ Olaflur; 125ppm F⁻ (0,0125% F⁻); Zinnfluorid, 125 ppm F⁻; pH: 4,2 (10% in Wasser)]

3.3.3 Probandeninstruktion

Vor Versuchsbeginn wurde allen Probanden eine Versuchsanleitung ausgehändigt und intensiv mit ihnen besprochen und eingeübt. Außerdem wurden alle Probanden mit einer Stoppuhr, einem Plastikgefäß für die Aufbewahrung der Gaumenplatte, einer Anleitung über den Versuchsablauf, der fluoridfreien Zahnpaste (Mat. 23), der fluoridhaltigen Zahnpaste (Mat. 24), dem fluoridhaltigen Gel (Mat. 25), der fluoridhaltigen Mundspüllösung (Mat. 26), einer Mundspülung zur Plattenreinigung (Mat. 27) und zu Versuchsbeginn mit der Zitronensäure und der jeweiligen Gaumenplatte mit eingearbeiteten Schmelzproben ausgestattet. Um den Versuchsplan genau einzuhalten, wurde den Probanden eine Kontrollliste ausgehändigt. Die Gaumenplatten wurden in allen Versuchsgruppen über fünf Tage hinweg 24 Stunden lang getragen. Nur während der Zeit des Erodierens für je fünf Minuten, sowie zu den Mahlzeiten, vor dem Genuss säurehaltiger Getränke und zum Putzen der eigenen Zähne wurden sie aus dem Mund genommen. Zur Lagerung wurden die Apparaturen während dieser Zeit in einem feuchten Taschentuch oder einer feuchten Plastikbox bei Raumtemperatur aufbewahrt. Nach dem Essen und Trinken

säurehaltiger Nahrungsmittel wurde 15 Minuten gewartet, bevor die Probenträger wieder in den Mund gesetzt werden konnten. Während der Versuche sollten fluoridhaltige Lebensmittel (schwarzer Tee, Fisch, hochfluoridhaltiges Mineralwasser) bestmöglich vermieden werden. Die Probanden putzten ihre Zähne mit der Probenhalterung im Mund. Die Schmelzproben wurden jedoch nicht berührt. Mit Beginn des Putzen wurde eine Stoppuhr gestartet, so dass das Speichel/Pasten-Gemisch für genau fünf Minuten einwirken konnte. Falls über das Protokoll hinaus noch Mundpflegemaßnahmen erwünscht waren, konnten diese mit fluoridfreien Produkten ohne die Probenhalterung erfolgen. Plaquewachstum war unbedingt zu vermeiden, deshalb wurden die Proben jeden Abend für fünf Minuten in Chlorhexidin eingelegt und anschließend mit einer Watterolle gereinigt.

Alle Proben wurden sechsmal täglich für fünf Minuten außerhalb des Mundes mit 0,05 M Zitronensäure erodiert. Beim Einlegen wurde darauf geachtet, dass die Proben vollständig mit der Säure bedeckt waren und fünfmal durchgeschüttelt wurden. Zu Beginn der Versuche und zwischen jedem Versuch wurden Mundhygienemaßnahmen eine Woche lang nur mit fluoridfreien Produkten betrieben. Weiterhin begann jeder Proband mit einer anderen Versuchsperiode. Daher ergab sich folgendes Schema 1:

| | Proband 1 | Proband 2 | Proband 3 | Proband 4 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 Woche „wash-out“ | | | | |
| 5 Tage Versuch | Versuch 1 | Versuch 2 | Versuch 3 | Versuch 1 |
| 1 Woche „wash-out“ | | | | |
| 5 Tage Versuch | Versuch 2 | Versuch 3 | Versuch 1 | Versuch 3 |
| 1 Woche „wash-out“ | | | | |
| 5 Tage Versuch | Versuch 3 | Versuch 1 | Versuch 2 | Versuch 2 |

3.3.4 Versuchsablauf

Die vier Proben eines Zahnes wurden auf die vier Versuchsgruppen verteilt. An fünf aufeinanderfolgenden Tagen wurden nach Schema 1 folgende Versuche durchgeführt:

Versuch 1

Die Proben wurden sechsmal täglich für fünf Minuten außerhalb des Mundes mit der entsprechenden Zitronensäure erodiert und ohne Anwendung von Fluorid im Mund getragen. Die tägliche Mundpflege erfolgte mit fluoridfreien Präparaten.

Versuch 2

Die Proben wurden sechsmal täglich erodiert, direkt nach dem Erodieren wurde dreimal täglich (also nach jeder zweiten Erosion) für fünf Minuten mit der fluoridhaltigen Zahnpaste geputzt.

Versuch 3

Die Proben wurden erodiert, direkt nach dem Erodieren wurde dreimal täglich für fünf Minuten die fluoridhaltige Zahnpaste benutzt (nach der ersten, dritten und fünften Erosion). Darüber hinaus wurde dreimal täglich für fünf Minuten mit der fluoridhaltigen Mundspülung gespült (nach der zweiten, vierten und sechsten Erosion). An Tag eins und drei wurde das Fluoridgelee (fünf Minuten) anstelle der Mundspülung nach der sechsten Erosion angewendet.

In vitro Versuch

Um die in situ mit der in vitro Situation vergleichen zu können, wurde zusätzlich ein Laborversuch durchgeführt. Dazu wurden 19 identisch angefertigte Schmelzproben in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt und genau wie in dem ersten Versuch ohne Fluorid fünf mal am Tag erodiert. Die Auswertung erfolgt ebenfalls durch die Mikroradiografie.

3.4 Bestimmung des Mineralgehalts

Um den Mineralgehalt der intakten, unbehandelten Schmelzoberfläche zu bestimmen, wurde vor Versuchsbeginn von den Zahnproben eine mikroradiografische Aufnahme, der sogenannte Base-scan, im Röntngenerator (Mat. 28) angefertigt. Dieser dient somit als Grundlage für die Berechnung des Mineralverlustes. Am Ende einer Versuchsreihe folgte eine weitere mikroradiografische Aufnahme, so dass der jeweilige Mineralverlust der Schmelzprobe gemessen wurde. Die Aufnahmen wurden in einem speziellen Kameragehäuse vorgenommen, das mit der „Objektivseite“ am Röntgentubus des Röntngenerators gekoppelt ist.

In dem Kameragehäuse ist auf Filmhöhe eine Aluminium-Eichtreppe für longitudinale Mikroradiogramme montiert; rechts daneben befindet sich ein Aluminiumschlitten zur Aufnahme der LMR-Probenhalter. Dieser sorgt während der mikroradiografischen Aufnahmen für eine exakte Positionierung der Schmelzproben in Beziehung zur Aluminium-Eichtreppe, welche zur Kalibrierung des Mikrocomputers für die Auswertung der mikroradiografischen Filme dient.

Der Aluminium-Schlitten kann bei geschlossenem Kameragehäuse mit eingelegtem Film entnommen und die Probe gewechselt werden. Die Schmelzprobe wird zusammen mit der Aluminium-Eichtreppe durch Röntgenstrahlen auf einen hochauflösenden Spezialfilm (Mat. 29) projiziert.

Die Belichtung des Filmes erfolgte bei 20 kV und 50 mA und einer Belichtungszeit von 2,5 Minuten.

Die Proben wurden mit Alkohol gereinigt und mit Watterollen oder Druckluft vorsichtig getrocknet und der Reihe nach sortiert. Der unbelichtete Spezialfilm wurde auf eine gewöhnliche Filmrolle (Mat. 30) in einer lichtundurchlässigen Kassette (Mat. 31) manuell aufgespult und in die Kamera eingelegt. Nach Schließen des Gehäuses wurden im abgedunkeltem Raum drei bis vier Leerbilder angefertigt und erst dann wurde ein Probenträger mit der jeweiligen Schmelzprobe in den

Aluminium-Schlitten eingelegt und bis zum Anschlag in das Kameragehäuse eingeschoben. Dabei zeigte die Schmelzoberfläche zum Film. Nach jeder Aufnahme wurde der Film manuell vorgedreht und die nächste Probe gewechselt. Diese wurden unmittelbar nach dem Röntgen wieder in der feuchten Kammer gelagert, um ein Austrocknen des Schmelzes zu vermeiden. Zuletzt erfolgte das manuelle Zurückspulen des Filmes, welcher dann entwickelt werden konnte. Dies geschah für sechs Minuten bei 20°C (Entwickler; Chem.6), danach wurde der belichtete Film mit Wasser gereinigt und für fünf Minuten fixiert (Chem. 7). Es folgten erneute Spülungen unter fließendem Leitungswasser für zwei Minuten, mit Ethanol für fünf Minuten, danach wiederum mit fließendem Leitungswasser für 20 Minuten. Abschließend wurde der Film kurz durch ein Netzmittel (Chem. 8) gezogen und für 40 Minuten im Trockenschrank getrocknet. Anschließend wurden die einzelnen Aufnahmen des Filmes mit einem wasserfesten Stift nach den einzelnen Probenidentifikationsnummern beschriftet und in einer Filmdose aufbewahrt. Mit Hilfe des Inspektor-Mikroradiografiesystems (Mat. 32) erfolgt die Auswertung der Mikroradiogramme unter Steuerung durch eine spezielle LMR-Software. Das System besteht aus einem Mikroskop mit einem LMR-spezifischen Densitometer (Mat. 33), welches mit einem Computer verbunden ist. Dieser verfügt über eine LMR-Software, mit der der Benutzer über verschiedene Schritte die Schmelzproben auswerten kann. Die Auswertung der Mikroradiogramme erfolgte in folgenden Schritten: Die auszuwertende Aufnahme wurde unterhalb des Densitometers auf einem beweglichen XY-Tisch fixiert. In 5 µm-Schritten mit einer maximalen Geschwindigkeit von 1 mm/s erfolgte die Bewegung des XY-Tisches, welche durch einen Mikrocomputer gesteuert wurde. Die Mikroradiogramme wurden mit Hilfe des Mikroskopsystems auf die festgelegten Referenzpunkte durch Verschieben des XY-Tisches in zweidimensionaler Richtung ausgerichtet. Die Ausrichtung erfolgte bei zehnfacher Vergrößerung des Mikroskops durch Ansteuerung zweier Referenzpunkte im Mikroradiogramm mittels der Pfeiltasten der Tastatur. Der 2 x 2 mm große Base-scan der Schmelzproben wurde durchgeführt und die Referenzpunkte vom Computer für die weitere Auswertung immer

wieder angefahren. Somit wurde innerhalb der Versuchsreihe jeweils exakt die gleiche Stelle der Schmelzprobe gescannt, so dass ein Vergleich mit dem Base-scan möglich war. Von jedem einzelnen gescannten Punkt (x/y) wurde die optische Filmtransmission gemessen und anschließend auf der Festplatte gespeichert. Nach Scannen der Schmelzprobe wurde die AL-Treppe abgefahren und gespeichert, damit die optische Filmtransmission kalibriert werden konnte.

Dabei entstand eine Eichkurve, bei der die Lichtmission im Film (T) gegen die Masse pro Flächeneinheit (m_{AL}) aufgetragen wird. Mit Hilfe der Eichkurve wandelt der Rechner die Transmissionswerte der Schmelzprobe in Röntgenstrahlenabsorption um. Auf diese Weise lässt sich für jeden einzelnen Scan-Punkt auf der Schmelzprobe der Mineralgehalt bestimmen.

Der absolute Mineralgehalt pro Scan-Punkt [$m(x, y)$] wird mit Hilfe der Formel nach Ericsson (1965) bestimmt:

$$m_{(x,y)} = A_{n, \text{ slice}_{(x,y)}} : (\mu/\rho)_m = (\mu/\rho)_{Al} * m_{Al, \text{ slice}_{(x/y)}} : (\mu/\rho)_m$$

$$m_{(x,y)} = \text{absoluter Mineralgehalt am Scan-Punkt } x/y \text{ auf der Schmelzprobe;}$$

$$A_{n, \text{ slice}_{(x,y)}} = \text{Röntgenstrahlenabsorption der Schmelzprobe auf der } x,y\text{-Position;}$$

$$(\mu/\rho)_m = \text{Massenschwächungskoeffizient des Minerals;}$$

$$(\mu/\rho)_{Al} = \text{Massenschwächungskoeffizienten von reinem Aluminium.}$$

Der Massenschwächungskoeffizient wird für Hydroxylapatit mit $8,32 \text{ kgm}^{-3}$ und für Aluminium mit $4,86 \text{ kgm}^{-3}$ bei einer Wellenlänge der Cu-K- α - Strahlung von $0,154 \text{ nm}$ angegeben.

Anhand dieser Formel lässt sich für die gesamte Scan-Fläche der Schmelzprobe der durchschnittliche Mineralgehalt pro Flächeneinheit errechnen. Somit erhält man eine quantitative Angabe über den Mineralverlust der Schmelzprobe ($\text{vol\% } \mu\text{m}$) und den Schmelzabtrag (μm) der Probe. Durch unterschiedliche Mikroradiogramme von derselben Schmelzoberfläche, gemessen an den jeweiligen Versuchen (Abb. 3a + b), lassen sich die Veränderungen (Change) des Mineralgehaltes im Vergleich zur Ausgangssituation (Base-scan) durch den Computer errechnen.

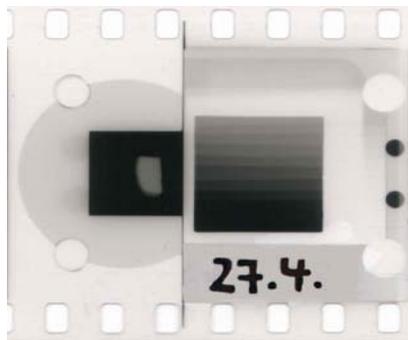


Abb. 3a: Mikroradiografische Aufnahme der Probe 27.4 vor dem Versuch ohne Fluorid (links Probe, rechts Aluminiumeichtreppe)

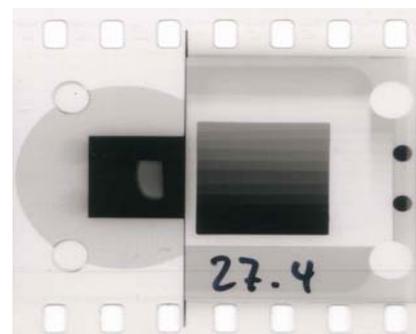


Abb. 3b: Mikroradiografische Aufnahme der Probe 27.4 nach dem Versuch ohne Fluorid, die Veränderungen der Graustufen sind auf der Probe deutlich zu erkennen

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistical Package for Social Sciences (SPSS 9.0) für Windows 95. Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Testes wurde die Normalverteilung der Stichproben festgestellt. Der Vergleich innerhalb der Gruppen erfolgte mit dem t-Test für abhängige Stichproben. Für den Vergleich zwischen den Gruppen wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Anschlussstest nach Tukey durchgeführt.

Das Signifikanzniveau wurde bei 0,05 festgelegt.

Bei der Darstellung der Ergebnisse gelten folgende Abkürzungen:

| | | |
|-----------|---|---------------------------------------|
| \bar{x} | = | arithmetischer Mittelwert |
| s | = | Standardabweichung |
| MIN | = | Minimalwert |
| MAX | = | Maximalwert |
| p | = | Irrtumswahrscheinlichkeit |
| ns | = | nicht signifikant |
| * | = | signifikant ($p \leq 0,05$) |
| ** | = | sehr signifikant ($p \leq 0,01$) |
| *** | = | höchst signifikant ($p \leq 0,001$) |

Zusätzlich wurden die Ergebnisse in Form von Boxplots zusammengefasst. Während die Kästen (Boxes) das 25. und 75. Perzentil desjenigen Bereichs angeben, erstrecken sich die Linien zum jeweils höchsten und niedrigsten Wert. Ausreißer (Werte, die mehr als 1,5 Boxlängen von der Boxbegrenzung entfernt liegen) werden mit o, Extremwerte (Werte, die mehr als drei Kastenlängen außerhalb liegen), mit * markiert. Innerhalb der Kästen sind die Medianwerte in Form von Querbalken angegeben (Abb. 4).

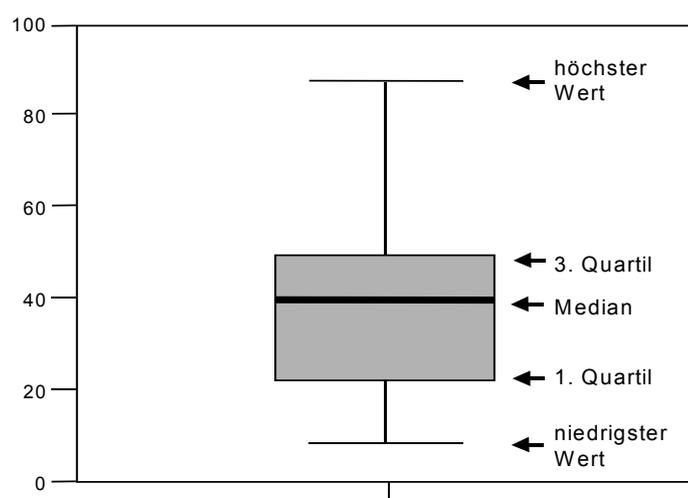


Abb. 4: Schema eines Boxplots

3.6 Materialien- und Chemikalienliste

3.6.1 Materialien

- Mat. 1 : Paraffinblöcke, Orion Diagnostika, Espoo, (FIN)
- Mat. 2 : pH-Meter 761 Calimatic, Knick, Berlin, (D)
- Mat. 3 : Exakt-Trennschleifsystem, Exakt-Apparatebau O. Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 4 : Plexiglasobjektträger 5 x 10 cm, Exakt-Apparatebau, O. Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 5 : Exakt-Mikroschleifsystem, Exakt-Apparatebau O. Herrmann, Norderstedt, (D)
- Mat. 6 : Schleifpapier Silikon Carbide, Körnung P 800 und P 1000, LECO, (USA)
- Mat. 7 : Schleifpapier Silicon Carbide, „C“ weight paper, Körnung P 4000, LECO, (USA)
- Mat. 8 : Einmalskalpell, Aesculap, Tuttlingen, (D)
- Mat. 9 : Mikrometerschraube mit Digitalanzeige (0 - 35 mm 0,001 mm), Mitutoyo, (J)
- Mat. 10 : Gefäße für Zähne und Zahnschnitte, Greiner Labortechnik, Solingen, (D)
- Mat. 11 : Probenhalter LMR, Inspektor Res. Sys. BV Amsterdam, (NL)
- Mat. 12 : Silikon-Spray, Orbis dental Handels GmbH, Offenbach, (D)

- Mat. 13 : Zylinderdiamant (ISO No. 80631411514), Komet Lemgo, (D),
rotes Winkelstück schnelldrehend, Siemens Bensheim, (D)
- Mat. 14 : Stereolichtmikroskop, Leitz Wetzlar, (D)
- Mat. 15 : Polymerisationslichtgerät Translux CL Kulzer Werheim, (D)
- Mat. 16 : Palagat Plus, ESPE Dental-Medizin GmbH & Co. KG, Seefeld,
(D)
- Mat. 17 : Superhartgips, Fujirock EP, GC
- Mat. 18 : Knopfanker, Scheu Dental GmbH, Iserlohn, (D)
- Mat. 19 : Streukunststoff, „Pala Dur“, Heraeus Kulzer GmbH, Wehrheim,
(D)
- Mat. 20 : Schmirgelpapier, Fritz Fickert, Dental-Fabrik, Wuppertal, (D)
- Mat. 21 : Polierpaste „KMG“, Candulor AG, Wangen, (D)
- Mat. 22: pH-Meter 761 Calimatic, Knick (D)
- Mat. 23 : Aronal® Zahnpaste, GABA GmbH, Lörrach, (D)
- Mat. 24 : Elmex® Zahnpaste, GABA GmbH, Lörrach, (D)
- Mat. 25 : Elmex® gelée, GABA GmbH, Lörrach, (D)
- Mat. 26 : Meridol® Mundspülung, GABA GmbH, Lörrach, (D)
- Mat. 27 : Chlorhexamed®-Fluid, Blend-a-med
Forschung, Procter & Gamble GmbH, Schwalbach, (D)

- Mat. 28 : Röntgengenerator PW 1830/30, Phillips, Kassel, (D)
- Mat. 29 : Kodak high speed holographic film SO-253, Kodak AG
Stuttgart, (D)
- Mat. 30 : Filmspulkassette, Hama, Monheim, (D)
- Mat. 31 : Filmrolle; Jobo, (D)
- Mat. 32 : IMR Inspektor Mikroradiografiesystem, Inspektor Res Sys. BV
Amsterdam, (NL)
- Mat. 33 : Densitometer (Leitz MPV compact Ortholux II) mit zirkulärem
Densitometerfenster (Größe 100 x 100 μm), Leitz, Wetzlar, (D)

3.6.2 Chemikalien

Chem. 1 : Thymolpulver, Fluka Chemie AG Buchs, (CH)

Chem. 2 : Fixationskleber Technovit 7230 VLC, Kulzer-Exakt
Wehrheim, (D)

Chem. 3 : Ethanol 70% (mit Petroläther vergällt), Merck Darmstadt, (D)

Chem. 4 : Zitronensäure (Citronensäure-Monohydrat), Art. 242.1000,
Merck Darmstadt, (D)

Chem. 5 : isotone Kochsalzlösung 0,9%, Braun Melsungen, (D)

Chem. 6 : Entwickler Kodak D - 9, Kodak AG Stuttgart, (D)

Chem. 7 : Express-Fixiersalz, Tetenal Photowerk GmbH & Co
Norderstedt, (D)

Chem. 8 : Agepon (Netzmittel für Photomaterial), Agfa - Gevart AG,
Leverkusen, (D)

4 ERGEBNISSE

4.1 Allgemeines

Bis auf zwei Schmelzproben, die bei der Entnahme aus der Gaumenplatte zerbrochen waren, konnten alle Proben der Versuchsreihe ausgewertet werden. Durch exaktes Einüben des Verfahrens vor Beginn des Versuchs war es den Probanden möglich, die Anweisungen gut und gewissenhaft auszuführen. Die konsequente Mitarbeit wurde durch die ausgefüllten Versuchsprotokolle bestätigt. Da die Gaumenplatten schon im voraus getragen und auftretende Druckstellen entfernt wurden, kam es zu keinen Komplikationen oder Unterbrechungen innerhalb der Versuchsreihe. Bei der Versuchsphase mit der intensiven Fluoridierung zeigten sich bei Proband 1 und 3 Mundschleimhautveränderungen. Die Schleimhautirritationen und Ablösungen der Mundschleimhaut traten erst gegen Ende dieser Versuchsphase auf, waren leicht schmerzhaft und beeinträchtigten den Geschmackssinn. Nach Absetzen der Intensivfluoridierung klangen die Beschwerden schnell ab und die Mundschleimhaut konnte sich regenerieren.

Nach jeder Versuchsreihe wurden die Schmelzproben untersucht. Es konnten weder Plaqueauflagerungen noch Verfärbungen gefunden werden. Außerdem wurde kontrolliert, ob die Proben mechanisch beschädigt waren. Makroskopisch war bei allen Proben in der Phase ohne Fluorid eine weißlich opake Oberfläche im Sinne eines klassischen Säure-Ätzmusters zu erkennen. Zusätzlich wurde der Speichel der einzelnen Probanden untersucht. Die ermittelten Werte für die individuellen Speichelparameter lagen für alle Probanden meist im Normalbereich, dennoch ergab die Betrachtung der Resultate für die einzelnen Probanden ein recht unterschiedliches Bild.

Die Sekretionsrate für den Ruhespeichel lag bei allen Probanden im Normbereich (0,25 - 0,35 ml/min), die Pufferkapazität (Normbereich pH 4,25 - 4,75) lag bei Proband 1 mit pH 4,2 und bei Proband 3 mit pH 4,1 etwas darunter, Proband 2 (pH 2,9) und 4 (pH 3,0) wiesen eine geringe

Pufferkapazität auf. Die Sekretionsrate für den stimulierten Speichel lag ebenfalls für alle Probanden im Normbereich (1 - 3 ml/min). Die für den stimulierten Speichel ermittelten pH-Werte für die Pufferkapazität erreichten nicht ganz den Normbereich (pH 5,75 - 6,5), die beiden Probanden 1 (pH 5,0) und 3 (pH 5,0) lagen nur geringfügig darunter. Etwa einen pH-Wert niedriger lag die Pufferkapazität bei Proband 2 (4,0) und Proband 4 (3,9).

4.2 Effekt der in situ Situation im Vergleich zu den Werten des in vitro Versuchs

Um die Verringerung der Mineralverluste allein durch die Einwirkung des Speichels zu quantifizieren, wurden die Resultate aus dem Versuch ohne Fluorid mit denen der in vitro erodierten und in NaCl aufbewahrten Proben verglichen. Dabei zeigte sich, dass der Substanzverlust in der in vitro Gruppe mit $-58,4 \pm 9,3 \mu\text{m}$ (Min. -16,7; Max. -44,5 μm) etwa um fast 50% größer war, als bei den in situ getragenen Proben [$-40,7 \pm 15,1 \mu\text{m}$; Min. -16,7; Max. -44,5 μm ; $p \leq 0,01$; (Abb.5)].

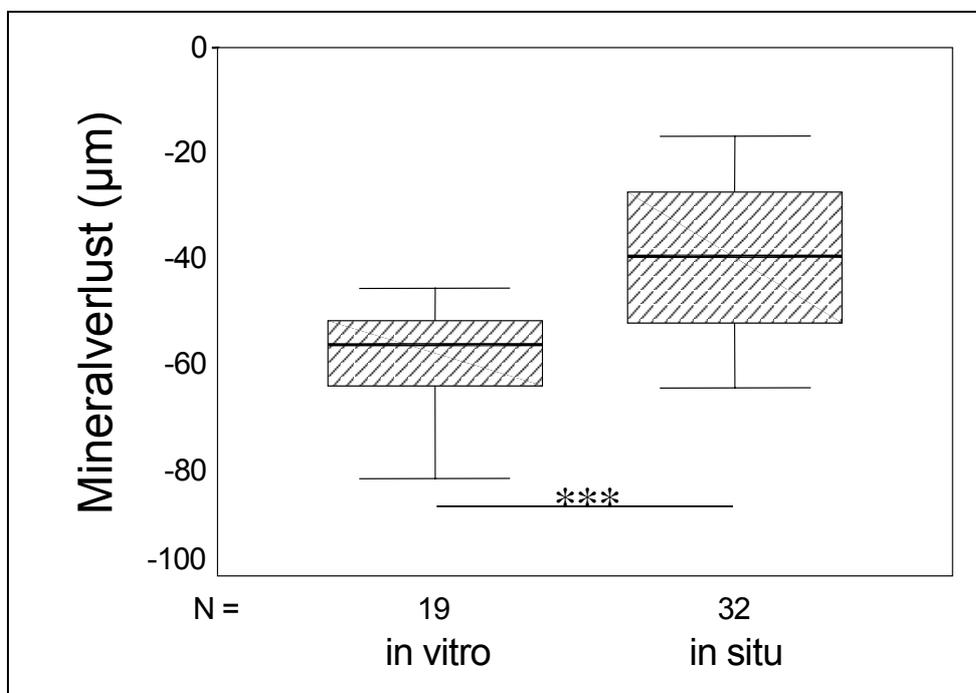


Abb. 5: Mineralverlust (µm) nach sechsmal fünf Minuten Erosion über fünf Tage in vitro (Aufbewahren der Proben in NaCl) und in situ

4.3 Betrachtung des Fluorideffekts

In allen drei Versuchsgruppen konnte ein Mineralverlust beobachtet werden, der jedoch unter der Verwendung von Fluorid signifikant geringer war.

Während der Mineralverlust in der Gruppe ohne Fluoridapplikation $-40,7 \pm 15,1 \mu\text{m}$ (Min. $-16,7$; Max. $-64,5 \mu\text{m}$) betrug, war der Mineralverlust nach der Verwendung der fluoridhaltigen Zahnpaste mit $-18,3 \pm 12,4 \mu\text{m}$ (Min. $-0,6$; Max. $-49,7 \mu\text{m}$) um etwa die Hälfte reduziert ($p \leq 0,001$). Darüber hinaus war der Mineralverlust nach der Intensivfluoridierung mit $-5,0 \pm 12,2 \mu\text{m}$ (Min. $+31,0$; Max. $-25,2 \mu\text{m}$) erneut um etwa zwei Drittel verringert ($p \leq 0,001$). Somit war der Mineralverlust im Vergleich zur Gruppe ohne Fluoridierung insgesamt auf etwa 10% reduziert [$p \leq 0,001$; (Abb. 6)].

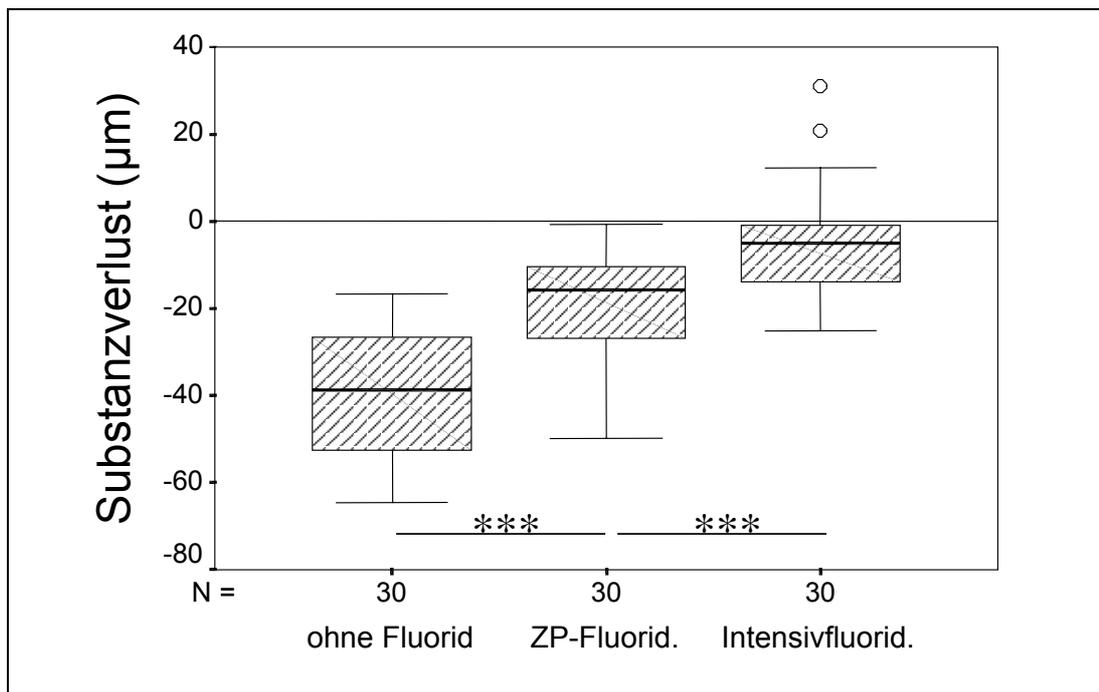


Abb. 6: Mineralverlust (μm) in allen drei Versuchen ohne Fluorid, Zahnpasten (ZP)- Fluoridierung und Intensivfluoridierung für alle Probanden, n = Anzahl der Proben

4.4 Betrachtung der einzelnen Probanden

Bei Betrachtung der einzelnen Probanden zeigten sich deutliche Unterschiede (Tab. 1). Bereits in dem Versuch ohne Fluoridapplikation lag der Mineralverlust für Proband 1 und 2 bei $-46,0 \pm 10,2 \mu\text{m}$, bzw. bei $-52,9 \pm 11,2 \mu\text{m}$, während der Mineralverlust im Vergleich dazu bei Proband 3 und 4 mit $-27,5 \pm 15,8 \mu\text{m}$, bzw. $-35,7 \pm 9,4 \mu\text{m}$ etwa um die Hälfte geringer war. Die gemessenen Werte für den Probanden 1 und 2 waren dabei vergleichbar mit den Werten für den Mineralverlust in dem in vitro Versuch ($-58,4 \pm 9,3 \mu\text{m}$). Proband 3 zeigte allein durch sein Mundmilieu die größte Schutzwirkung vor Erosionen ($-27,5 \pm 15,8 \mu\text{m}$).

Bei allen Probanden konnte durch die Fluoridapplikation ein signifikant geringerer Mineralverlust beobachtet werden. Allerdings fanden sich auch hier deutliche Unterschiede: während bei Proband 2 und 3 die alleinige Zahnpastenfluoridierung nur etwa halb so effektiv war wie die Intensivfluoridierung, zeigten sich bei Proband 1 und 4 die Zahnpastenapplikation als so effektiv, dass durch die Intensivfluoridierung nur noch ein relativ geringer zusätzlicher Effekt beobachtet werden konnte. Am wenigsten effektiv war die Intensivfluoridierung bei Proband 2 ($-12,1 \mu\text{m}$).

Bei einzelnen Proben ist es nach der Intensivfluoridierung im Vergleich zu dem Ausgangsmineralgehalt bei allen Probanden sogar zu einem Mineralgewinn gekommen. Besonders ausgeprägt war dieser Effekt bei Proband 4. Insgesamt war der Mineralverlust nach Intensivfluoridierung auch bei den beiden Probanden mit einem hohen Mineralverlust in den Versuchsphasen ohne Fluorid im Vergleich zu denen, die dort einen geringen Mineralverlust hatten, ähnlich. Zur Veranschaulichung sind die Resultate in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tab.1 : Übersicht über den Mineralverlust der einzelnen Probanden in allen drei Versuchen, positive Werte bedeuten einen Mineralgewinn

| | | Mineralverlust (μm) | | |
|------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | | Versuch1 (ohne Fluorid) | Versuch 2 (Zahnpastenfluorid.) | Versuch 3 (Intensivfluorid.) |
| PROBAND 1 | | | | |
| | \bar{x} | - 46,6 | - 12,9 | - 8,7 |
| | s | 10,2 | 9,7 | 9,0 |
| | Min | -28,2 | - 1,1 | 0,7 |
| | Max | - 63,0 | - 25,7 | - 21,0 |
| PROBAND 2 | | | | |
| | \bar{x} | - 52,9 | - 33,4 | - 12,1 |
| | s | 11,2 | 8,6 | 10,9 |
| | Min | - 35,5 | - 21,7 | 6,2 |
| | Max | - 64,5 | - 49,7 | - 25,2 |
| PROBAND 3 | | | | |
| | \bar{x} | - 27,5 | - 12,1 | - 3,4 |
| | s | 15,8 | 7,0 | 12,2 |
| | Min | - 16,7 | - 0,8 | 12,3 |
| | Max | - 64,5 | - 22,0 | - 14,3 |
| PROBAND 4 | | | | |
| | \bar{x} | - 35,7 | - 14,2 | 3,6 |
| | s | 9,4 | 10,1 | 14,8 |
| | Min | - 22,8 | - 0,6 | 31,0 |
| | Max | - 52,7 | - 34,0 | - 11,9 |

Im Überblick sind in Abbildung 7 die Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden in bezug auf den Mineralverlust in μm und den drei Versuchen dargestellt.

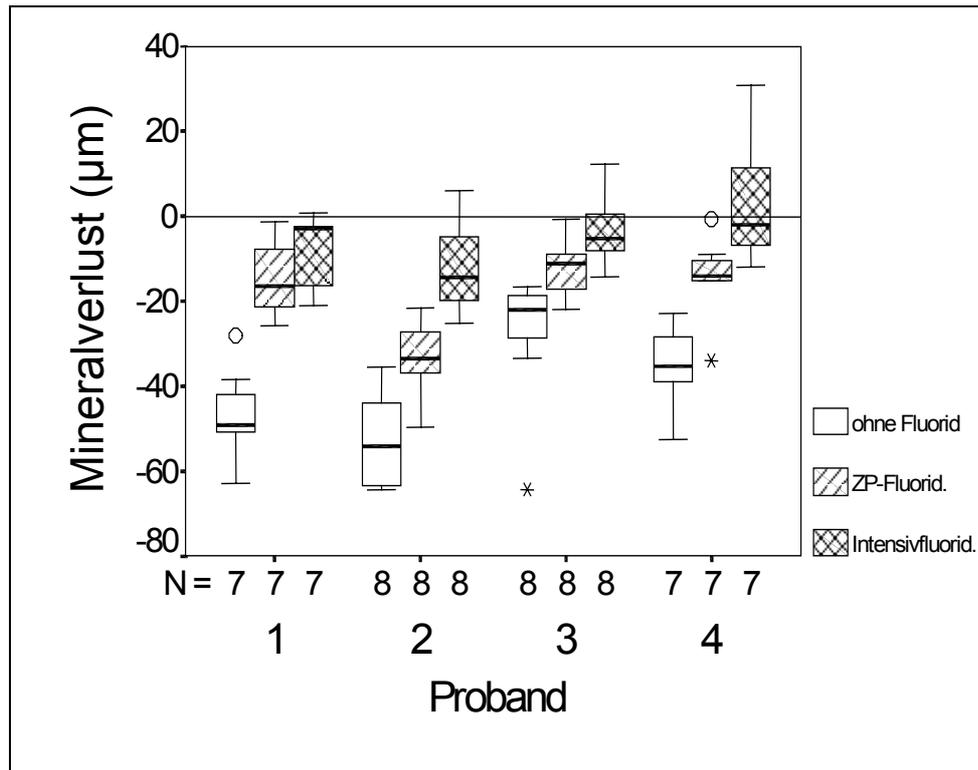


Abb. 7: Mineralverlust (μm) für die vier Probanden in allen drei Versuchen (n = Anzahl der Proben)

5 DISKUSSION

5.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Schmelzproben wurden aus vollständig retinierten menschlichen dritten Molaren gewonnen. Dies stellte sicher, dass der Zahnschmelz keinen Kontakt zu der Mundhöhle hatte, so dass eine exogene Fluoridanreicherung ausgeschlossen war. Außerdem kann der Mineralgehalt des Zahnschmelzes unter Mundbedingungen in Abhängigkeit vom Alter sehr variieren. So können vollständig retinierte Zähne eine doppelt so hohe Löslichkeit aufweisen wie durchgebrochene Zähne (Brudevold, 1947). Dem entsprechen die klinischen Beobachtungen von Asher und Read (1987), die vermuten, dass der Schmelz neu durchgebrochener Zähne bei exzessivem Genuss von Zitronensäure besonders anfällig für Erosionen ist. Nach dem Zahndurchbruch kommt es im Sinne einer posteruptiven Schmelzreifung und in Abhängigkeit von Alter und Lebensumständen zur Einlagerung von Kalzium, Phosphat und Fluorid und damit zu einer individuell unterschiedlichen Verringerung der Säurelöslichkeit. So konnten elektronenmikroskopisch nach in situ Applikation von Zitronensäure Variationen von kaum wahrnehmbaren Veränderungen bis hin zu massiven Ätزشäden beobachtet werden (Noack, 1989). Um den Einfluß dieser Unterschiede in der Säurelöslichkeit auf das Versuchsergebnis zu minimieren, wurden in der vorliegenden Arbeit nur zuvor vollständig retinierte Weisheitszähne verwendet.

Da natürlich auch bei vollständig retinierten Weisheitszähnen eine unterschiedliche „Schmelzqualität“ angenommen werden muss, wurden zudem aus jedem Zahn vier Proben gewonnen, von denen je eine auf die vier verschiedenen Versuchsgruppen verteilt wurde. Ganss et al. (2000) zeigten, dass zumindest innerhalb eines Zahnes der Substanzverlust an den verschiedenen polierten Glattflächen (mesial, distal, bukkal und oral) in etwa gleich ist. Der Substanzverlust verschiedener Zähne im Vergleich kann jedoch erheblich variieren. Deshalb wurden nur Zähne verwendet, aus denen vier Proben gewonnen werden konnten. Die verschiedenen

Glatflächen, aus denen die Proben gewonnen wurden, wurden jedoch zur Sicherheit zufällig auf die Gruppen verteilt.

Aus methodischen Gründen war es erforderlich, eine plane Zahnoberfläche zu erzeugen, was zwangsläufig mit der Entfernung des oberflächlichen prismenfreien Schmelzes verbunden war. Da dieser jedoch eine größere Resistenz gegenüber Säureeinwirkungen aufweist (Davis und Winter, 1980; Meurman und Frank 1991a und b; Schroeder, 1992; Ganss et al., 2000), musste mit einem größeren Substanzabtrag der polierten Proben gerechnet werden. So konnte gezeigt werden, dass bei polierten Schmelzproben schon nach kürzeren Säureapplikationszeiten erosive Schmelzveränderungen auftreten als bei unpoliertem Schmelz (Meurman und Frank, 1991a). Andererseits kommt es auch im Mund bei häufigem Verzehr erosiver Nahrungsmittel und eventuell nachfolgendem mechanischen Abrieb zum Verlust der aprismatischen Schmelzoberfläche und zu ausgeprägten flächenhaften Schmelzdefekten mit Freilegung der Schmelzprismen (Noack, 1989), so dass bearbeitete Schmelzproben zumindest annähernd mit der klinischen Situation vergleichbar sind (Attin et al., 1996).

Insgesamt ist jedoch aufgrund der Probenauswahl und Probenpräparation mit einem größeren erosiven Substanzverlust zu rechnen als *in vivo*, deshalb können *in vivo* sogar günstigere Resultate erwartet werden.

5.1.1 Erosionserzeugung

In der vorliegenden Studie wurde zur Erzeugung der Erosionen Zitronensäure verwendet, die in Früchten und Getränken am häufigsten vorkommt (Imfeld, 1983). Viele saure Getränke und Lebensmittel haben ein erosives Potential. In vielen Studien wurden die Erosionen mit Früchten, Frucht- bzw. Gemüsesäften und mit Erfrischungsgetränken (McCay und Will, 1949; Miller, 1951; Graf, 1953; Holloway et al., 1958; Stephan, 1966; Liss, 1966, Aeschbacher, 1967; Reussner et al., 1975; Schweizer-Hirt et al., 1978; Asher und Read, 1987; Grenby, 1990; Grobler et al., 1990; Meurman et al., 1990; Hannig, 1993) oder mit Orthophosphorsäure erzeugt, die bei der Schmelzkonditionierung im Sinne der

Schmelz-Ätz-Technik Verwendung findet (Legler et al., 1990). Fruchtsäfte enthalten z.B. 5-8% Zitronensäure.

Außer dem pH-Wert spielen jedoch auch andere Bestandteile wie z.B. Kalzium, Phosphat und Fluorid eine Rolle. Die Bestandteile können sowohl Wechselwirkungen mit dem Schmelz eingehen, als auch auf die Säure selbst einwirken. So können z.B. Orangensaft und Ananassaft Schwebeteilchen beinhalten, die relativ hohe Werte von Kalzium, Phosphor und Protein aufweisen (Grenby, 1990). Dies kann in der Testlösung zu einer Pufferwirkung beitragen und möglicherweise ein nur allmähliches Freiwerden der Säure bewirken, welche die Zahnhartsubstanz letztlich angreift. Auch Lussi et al. (1993) konnten zeigen, dass das erosive Potential verschiedener säurehaltiger Getränke neben dem pH-Wert auch von ihrem Gehalt an Kalzium-, Phosphat- und Fluorid abhängig ist. Einige Sportgetränke wirkten beispielsweise stark und saure Milchgetränke nicht erosiv. Aus diesen Gründen wurde in der vorliegenden Untersuchung auf Fruchtsäfte verzichtet, welche selbst ohne Fruchtfleisch Schwebeteilchen enthalten, die mineralhaltig oder proteinreich sind und damit sowohl chemisch als auch mechanisch durch Ablagerung auf den Probenoberflächen eventuell eine Erosion verhindern können.

Die Zitronensäure war leicht und schnell anzusetzen, außerdem zeigte sich die Lösung und der gewählte pH-Wert (2,3) über die Versuchsperiode stabil. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Zitronensäure hatte eine Konzentration von 0,05 M, so wie sie auch in Getränken, z.B. Sprite Light® vorkommt (Attin et al., 1996). Die Erosivität von Zitronensäure ist mehrfach untersucht worden. Bereits McClure und Ruzicka (1946) haben in ihren Untersuchungen festgestellt, dass Zitronensäure noch bei einem pH-Wert von 6,5 - 6,7 Rattenmolaren zu entkalken vermag, während die Milchsäurefütterung bei gleichem pH-Wert zu keiner Schädigung führt. Die Zitronensäure ist eine dreiwertige Säure und hat komplexbildende Eigenschaften (Brosowsky, 1966). Die Komplexbildung von Kalzium führt zu einer anhaltenden Untersättigung der Lösung im Hinblick auf Apatit. Durch diese Verschiebung des Ionengleichgewichts kann somit vermehrt Kalzium aus dem Zahn herausgelöst werden. Dies verstärkt wiederum die Demineralisation.

Zitronensäure kann Hydroxylapatit so in fast neutralem Milieu demineralisieren (Attin et al., 1996). Dies kann auch in vivo gelten: 0,1 M Zitronensäure (in Zitronen 0,2 M) kann über 30% des Kalziums im Speichel komplexieren (Meurman und ten Cate, 1996).

Über das Ausmaß einer Erosion entscheiden in erster Linie sowohl der pH-Wert als auch Häufigkeit und Dauer der erosiven Angriffe (Zero, 1996; Linkosalo und Markkanen, 1985). Um Realitätsnähe zu erreichen, wurden die Erosionen sechsmal täglich, in Anlehnung an drei Hauptmahl- und drei Zwischenmahlzeiten, durchgeführt. Järvinen et al. (1991) untersuchten Erosionsprävalenzen in Verbindung mit der Häufigkeit der Aufnahme von erosiven Nahrungsmitteln. Hier wurde ein 37-fach erhöhtes Erosionsrisiko bei einem Verzehr von Zitrusfrüchten häufiger als zweimal pro Tag nachgewiesen. Insbesondere bei Personen, die sich vegetarisch, rohköstlich oder mit einem hohen Obstanteil ernähren, sind mehrmalige Säureeinwirkungen auf den Zahnschmelz täglich durchaus zu erwarten. So zeigte sich beispielsweise bei der Auswertung von Ernährungsprotokollen im Rahmen einer allgemeinmedizinisch/zahnärztlichen Untersuchung von Rohköstlern eine mittlere Häufigkeit der Aufnahme von Früchten von über fünfmal pro Tag, wobei das Maximum sogar bei bis zu 16 mal pro Tag lag. Es wurde eine mittlere Aufnahme von 62% (Max. 96%) von Früchten an der Gesamtnahrung und eine durchschnittliche Konsummenge von 9,5 kg Früchten/ Woche ermittelt (Ganss et al., 1999). Deshalb erschien der Versuchsaufbau mit sechs Säureangriffen in der vorliegenden Untersuchung als realistisch. Zudem sollte ein Vergleich mit der in vitro Studie von Ganss et al. (2001) durchgeführt werden, in der ebenfalls sechs Säureangriffe pro Tag vorgenommen wurden.

Als weiterer Faktor für das Ausmaß der erzeugten Erosion stellte sich die Frage nach der Erosionsdauer. Die klinische Situation in bezug auf die Dauer des erosiven Angriffes unterscheidet sich allerdings von der Situation in Laborstudien. Säuren werden in der Mundhöhle relativ schnell neutralisiert. Imfeld (1983) konnte mit intraoralen Messungen in der Mundflüssigkeit zeigen, dass der pH-Wert nach Kontakt mit säurehaltigen

Getränken in der Regel etwa nach einer Minute über dem für die Entstehung von Erosionen kritischen pH-Wertes von 4,5 liegen kann. Auch Meurman et al. (1987) stellten fest, dass nach einer einminütigen Spülung mit einem Sportgetränk der pH-Wert auf dem Zungenrücken bereits nach etwa einer Minute wieder bei etwa fünf lag. Allerdings kann der pH-Wert unter bestimmten Umständen, wie z.B. nach einer einmaligen Spülung mit Grapefruitsaft, der einen hohen Zitronensäuregehalt hatte, auch bei Personen mit niedriger Speichelfließrate noch nach zehn Minuten unterhalb des kritischen Wertes liegen (Tenovuo und Rekola, 1977; Imfeld, 1983). Beim Verzehr von erosiver Nahrung kann es jedoch zu längeren Einwirkzeiten von Säuren kommen. Meurman et al. (1990) zeigten, dass die fünfminütige Einwirkzeit eines sauren Getränkes zu einer messbaren Erweichung von Zahnschmelz führt, während kürzere Einwirkzeiten keine signifikanten Härteveränderungen bewirken. Auch Attin et al. (1996) konnten Härteverluste von Zahnproben, die ebenfalls fünf Minuten mit einem sauren Getränk erodiert wurden, feststellen. Insgesamt scheint eine Einwirkzeit von fünf Minuten durchaus begründet, denn fünf Minuten erwiesen sich in anderen Studien als hinreichend erosiv (Schweitzer, 1999).

Allerdings muss festgehalten werden, dass der Versuchsaufbau die komplexe Situation im Mund nicht vollständig wiederzugeben vermochte, weil die Proben außerhalb des Mundes erodiert wurden. Bei einer in vivo Demineralisation wären sonst auch die natürlichen Zähne der Probanden erodiert worden. So mussten Puffer- und Verdünnungseffekte sowie die Vorhandensein von Kalzium und Phosphat unberücksichtigt bleiben. Insgesamt war diese Studie aufgrund der Probenqualität, des fehlenden Speichels, der Häufigkeit und Dauer der Säureangriffe und Auswahl der Säure nach einem „worst case“ Szenario konzipiert. Dies war beabsichtigt, um auch Patienten mit schweren Erosionen eine geeignete Therapie vorschlagen zu können.

5.1.2 Messmethoden

Um den Mineralgehalt der Zahnhartsubstanz zu messen und insbesondere den erosiven Mineralverlust festzustellen, wurden verschiedene Methoden verwendet (Grenby, 1996). Eine Methode, die allen Anforderungen entspricht, sollte sowohl für den Gebrauch *in vitro* als auch für den Gebrauch *in situ* geeignet sein. Weiterhin sollten mehrere nicht destruktive Messungen erlaubt und die Quantifizierung von Mineralverlust und Mineralgewinn möglich sein.

Eine etablierte Messmethode ist die Profilometrie, die schon verschiedene Autoren verwendet haben (Attin et al., 1998; Rugg-Gunn et al., 1998; West et al., 1998; Hughes et al., 1999; Eisenburger et al., 2000; Ganss et al., 2000). Sie gilt als der „Goldstandard“ für die Bestimmung von erosiven Mineralverlusten (Hall et al., 1997). Das Prinzip der Profilometrie ist, den oberflächlichen Mineralverlust in Relation zur unversehrten Oberfläche zu messen. Die Messeinheit besteht hierbei aus einem Mikrotaster, einem Vorschubgerät und einem Auswertgerät. Dabei muss natürlich bedacht werden, dass profilometrisch immer verschiedene Probenareale gemessen werden. Es können nur oberflächliche Substanzverluste bestimmt werden. Andererseits erlaubt die profilometrische Abtastung grundsätzlich, etwa bei Rauheitsmessungen, reproduzierbare Messungen unter 1 µm. Allerdings ist die Repositionierung des Tasters und damit das genaue Nachfahren einer Spur bei wiederholten Messungen nicht möglich. Ein Vorteil der Profilometrie ist der geringe zeitliche Aufwand und die einfache Durchführung. Außerdem kann sie sowohl bei *in vitro* als auch bei *in situ* Studien verwendet werden (West et al., 1998). Weiterhin ist es möglich, den Substanzverlust über eine längere Periode zu überwachen, und es können Studien mit einer intensiven mechanischen Aktion (z.B. Zähneputzen einer erodierten Zahnoberfläche) durchgeführt werden.

Da in der vorliegenden Studie jedoch mit einem Mineralgewinn gerechnet wurde, war diese Methode weniger gut geeignet. Eine etwaige Remineralisation teilweise demineralisierter Bezirke, wie sie z.B. mit der

longitudinalen Mikroradiografie erfasst werden kann, bleibt bei den profilometrischen Messungen unberücksichtigt.

Ein wesentlicher Vorteil der mikroradiografischen Methoden ist, dass De- und Remineralisationen gemessen werden können. Mikroradiografische Methoden fanden bislang nur in der Kariologie weite Verbreitung (Arends und ten Bosch, 1992). Da aber in diesem Zusammenhang nicht nur Veränderungen des Gesamtmineralgehalts einer Probe, sondern auch Art und Tiefe einer Läsion von Bedeutung sind, stand hier immer die transversale Mikroradiografie (TMR), die den Mineralverlust bei intakter Oberfläche als Funktion der Tiefe darstellen kann, im Vordergrund. Die Messungen von oberflächlichen Substanzverlusten, wie sie bei Erosionen vorliegen, können mit dieser Methode aber nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurden Modifikationen der TMR durchgeführt (Hall et al., 1997; Amaechi et al., 1998a).

Eine Modifikation besteht darin, mit einer speziellen Software das ursprüngliche Niveau der erodierten Areale zu rekonstruieren. Dazu wird zuerst ein intakter Schmelzbereich bestimmt. Dann wird das Niveau der intakten Oberfläche auf die Region der erosiven Demineralisation projiziert. Auf diese Weise kann der totale erosive Mineralverlust bestimmt werden (Amaechi et al., 1998a). Diese Methode erlaubt die Bewertung von Mineralgewinn und -verlust bei in vitro (Amaechi et al., 1998b) und in situ (Amaechi et al., 1999) De- und Remineralisationsstudien. Es können allerdings keine Proben mit einer natürlichen (unregelmäßigen) Oberfläche verwendet werden, weil eine rekonstruierte intakte Oberfläche benötigt wird. Bei der Herstellung der Proben ist darauf zu achten, dass diese nicht dicker als 100 - 150 µm sind. Zudem müssen die Proben zweimal gescannt werden. Der Versuchsaufbau gestaltet sich deshalb schwierig und ist zeitaufwendig. Weil wiederholte Messungen mit diesem Verfahren nicht möglich sind, war auch diese Methode für die vorliegende Studie weniger gut geeignet.

Eine andere Modifikation wurde von Hall et al. (1997) beschrieben. Sie präparierten transversale Schmelzproben (100 - 150 µm), lackierten diese, abgesehen von einem zentralen Fenster, und setzten sie erosiven Angriffen aus. Bei der densitometrischen Auswertung erfolgte der Scan von der unversehrten Probenoberfläche durch das erodierte Areal zur gegenüberliegenden unbehandelten Seite. Der Mineralverlust und die maximale Tiefe der Läsion wurden anhand des resultierenden Mineralprofils bestimmt. Die Autoren verglichen diese Methode mit der etablierten Profilometrie und stellten fest, dass der Zahnhartsubstanzverlust gemessen mit der Profilometrie dem Zahnhartsubstanzverlust gemessen mit der transversalen Mikroradiografie entsprach. Die Technik der modifizierten transversalen Mikroradiografie ist nicht destruktiv und erlaubt aufeinanderfolgende Messungen der selben Probe *in vitro* und *in situ* (Hall et al., 1999). Messungen geringer Mineralverluste sind möglich, deshalb ist die modifizierte TMR besonders für Studien, die ein *in situ* Erosionsprotokoll benutzen, geeignet. Jedoch ist auch hier die Beurteilung von natürlichen Oberflächen nicht möglich. Deshalb wurde diese Messmethode in der vorliegenden Studie nicht angewendet, weil die Handhabung von dünnen Proben bei hintereinanderfolgenden Messungen schwierig erschien. Diese Modifikation ist der konventionellen longitudinalen Mikroradiografie (LMR) ähnlich (de Josseling de Jong et al., 1988).

Die LMR erfasst den gesamten Mineralgehalt eines longitudinalen Schmelzschnittes. Im Vergleich zur Profilometrie ist mit der LMR eine nicht destruktive Quantifizierung oberflächlicher De- und besonders auch Remineralisationsvorgänge sowohl *in vitro* als auch *in situ* möglich. Die LMR ist bislang nicht sehr häufig zur Quantifizierung von erosiv bedingtem Mineralverlust verwendet worden. Meßmethoden wie Profilometrie, LMR und Kalziumanalyse zeigten jedoch in einer Studie von Ganss et al. (2000) vergleichbare Ergebnisse von erosiven Mineralverlusten. Als komplexes Meßsystem beinhaltet die LMR jedoch verschiedene Fehlerquellen, die sich aus der Fokusgröße des Röntgenapparates, dem Abstand des Fokus zur Filmebene, dem Auflösungsvermögen des verwendeten mikro-

radiografischen Filmes und aus der Spaltenbreite des Densitometers am Mikroskop ergeben (de Josselin de Jong und ten Bosch, 1985).

Die Fokusgröße bestimmt zusammen mit der Ausrichtung des Objektes zum Film die Projektionsunschärfe. Bei Verwendung der kleinstmöglichen Fokusgröße von 2 mm Durchmesser und einer fokusfernen Lage des Objektes von 340 nm (Fokus-Objekt-Abstand) bzw. einer möglichst filmnahen Objektlage von 0,3 mm (Film-Objekt-Abstand) beträgt die Fokusunschärfe ca. 2 μm . Die Bildunschärfe, die durch das Auflösungsvermögen des Filmes (z.B. Kodak SO 253) bestimmt wird, liegt bei 0,8 μm (de Josselin de Jong und ten Bosch, 1985). Weiterhin spielt die Spaltenbreite des Densitometers bei der Auswertung der Mikroradiogramme eine Rolle. Liegt die Längsseite des Densitometerschlitzes bei einer Breite von einem Mikrometer parallel zur Schmelzoberfläche, beträgt die Unschärfe 1 μm (de Josselin de Jong und ten Bosch, 1985). Neben diesen unvermeidbaren Faktoren kommt es durch die Streuung der Röntgenstrahlen am Objekt bzw. an der Umgebung zu einer unkontrollierten Belichtung des Filmes. Nach Attix und Roesch (1968) beträgt der Massenstreuungskoeffizient der Zahnhartgewebe weniger als 1% des Massenschwächungskoeffizienten und kann deshalb vernachlässigt werden. Insgesamt kann der Fehler bei der Bestimmung des Mineralgehalts einer Probe bei $\pm 4 \mu\text{m}$ (de Josselin de Jong et al, 1987) liegen. Diese Werte sind bei Probendicken von um 400 μm als außerordentlich gering anzusehen, andererseits sind Mineralverluste von 10 μm (dieser Wert wäre angesichts der Fehlerbreite etwa als der kleinste messbare Unterschied anzusehen) 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 würde. Zusätzlich musste bei der Versuchsplanung berücksichtigt werden, dass geringe Mineralverluste oder sehr kleine Unterschiede zwischen Versuchsgruppen mit der LMR schwierig zu erfassen sind.

Insgesamt erschien die LMR als Methode zur Quantifizierung erosiv bedingter Mineralverluste für die vorliegende Untersuchung gut geeignet. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit der beliebig oft

wiederholbaren, gut reproduzierbaren Bestimmung in vitro und in situ des Gesamtmineralgehalts an demselben Probenareal. Außerdem können sowohl polierte als auch natürliche Probenoberflächen verwendet und Remineralisationsvorgänge an den Zahnschmelzproben gemessen werden. Dies war für die vorliegende Studie mit einem zyklischen De- und Remineralisationsmodell von besonderem Interesse. Zudem sind Proben mit einer Dicke von 400 µm robust und konnten somit leicht in die Gaumenplatten eingebracht werden.

Für Studien, in denen die Erosionen intraoral erfolgen, kann die Methode der modifizierten TMR von Hall et al. (1997) empfohlen werden.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Einfluss der in situ Bedingungen auf den Mineralverlust

Bei dem Vergleich der Werte der in situ Situation mit denen des in vitro Versuchs zeigte sich, dass der Mineralverlust bei dem in vitro Versuch um etwa 50% größer war als bei den in situ getragenen Proben.

Dabei wurden die Resultate aus dem Versuch ohne Fluorid mit denen der in vitro erodierten und in NaCl aufbewahrten Proben verglichen, um die Verringerung der Mineralverluste allein durch die Einwirkung des Speichels zu quantifizieren. Da die Säureangriffe außerhalb des Mundes ohne Einwirkung von Speichel vorgenommen wurden, mussten Puffer- und Verdünnungseffekte sowie die Anwesenheit von Kalzium und Phosphat während des Säuresangriffs unberücksichtigt bleiben.

In der vorliegenden Studie überwog trotz einer beobachteten Wirkung des Speichels eindeutig die Demineralisierung gegenüber einer möglichen Remineralisierung. Hierfür ergeben sich verschiedene Erklärungsansätze. Speichel wird allgemein eine Schutzfunktion gegenüber demineralisierenden Einflüssen in der Mundhöhle zugeschrieben. Er ist unter physiologischen Bedingungen eine an Kalzium-Phosphaten, d.h. Apatitbestandteilen, übersättigte Lösung (Larsen, 1991). Dadurch wird ein spontanes Herauslösen von Apatitbestandteilen aus der Zahnoberfläche

verhindert. Die Schutzfunktion des Speichels sollte in Hinblick auf die remineralisierende Wirkung von Kalziumphosphat-Deckschichten und den Einfluss des Pellikels diskutiert werden.

Kalzium und Phosphat sind Grundvoraussetzung für die Remineralisation. Dabei kommt Kalzium im Speichel als Komplex mit Proteinen, Phosphaten, Zitraten und Laktaten vor, nur etwa die Hälfte liegt als freie Ionenform vor. Der Grad der Kalziumbindung hängt u.a. vom pH-Wert des Speichels ab. Der Zustand der Übersättigung des Speichels in bezug auf Kalzium und Phosphat wird durch die Gegenwart spezifischer Speichelproteine aufrechterhalten. Über eine mögliche Remineralisierung erosiver Läsionen ist bisher relativ wenig bekannt. Als prinzipielles Problem einer möglichen Remineralisierung von erosiven Läsionen ist zu berücksichtigen, dass hier im Gegensatz zu kariösen Initialläsionen der Schmelz von der Oberfläche her abgetragen wird und damit keine remineralisierbaren Strukturen mehr vorhanden sind.

Remineralisationslösungen können zwar die Mikrohärtte erhöhen und den Mineralverlust insgesamt verringern (Attin et al., 1997a; Schweitzer, 1999), jedoch haben Untersuchungen gezeigt, dass es sich hier eher um das Ergebnis einer Präzipitation von verschiedenen Kalziumphosphatverbindungen handelt.

Dies wurde auch schon in einer früheren Studie von Lenz und Mühlemann (1963a) festgestellt. Sie haben die Wirkung des Speichels auf erodierten Schmelz mittels der Elektronenmikroskopie untersucht. Dabei wurden sowohl normale als auch künstlich angeätzte Schmelzproben zwei bis 48 Tage im Mund von Probanden getragen oder nur für zwei Stunden bis zwei Tage in frischen Speichel gelegt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass es sich bei einer Wiedererhärtung nicht um eine echte Remineralisation im Sinne einer Restitutio ad integrum durch reversibles Wachstum der angeätzten und teilweise aufgelösten Apatitkristalle handeln dürfte, sondern eher um Präzipitationen verschiedener in Säure schlecht löslicher Kalziumphosphate, wie $\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ und $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, in die aufgelockerte poröse Schmelzstruktur (Lenz und Mühlemann, 1963 a und b).

Gedalia et al. (1991a) haben in situ die remineralisierende Wirkung von Speichel und Kuhmilch untersucht, dabei diente Coca-Cola® als saure Versuchslösung. Die Schmelzproben lagen zunächst eine Stunde in der Testlösung. Anschließend wurden sie in individuell angefertigten Prothesenkörpern fixiert, vom Probanden getragen und für jeden Mikrohärtetest (vor und nach dem Versuch) herausgenommen. Dabei wurde eine remineralisierende Wirkung von Speichel und Milch durch Zunahme der Schmelzhärte im Mikrohärtetest bestätigt; diese Form der Remineralisierung könnte möglicherweise durch die Wiederaufnahme von Kalzium- und Phosphationen in den oberflächlichen Schmelz zustande kommen. Außerdem wurden elektronenmikroskopische Aufnahmen von den Schmelzproben während der verschiedenen Versuchsstadien angefertigt. Dabei schien die wiedererhärtete Schmelzoberfläche von einem homogenen Film bedeckt zu sein (Gedalia et al., 1991b).

Ein weiterer Erklärungsansatz ist der protektive Effekt durch ein im Munde gebildetes Pellikel. Insgesamt gibt es nur wenige Studien über den Einfluss des Pellikels auf die Entstehung von erosiven Zahnhartsubstanzverlusten. Das Pellikel bildet sich aus Speichelproteinen und anderen Makromolekülen. Durch eine permselektive Membran wird die Säurediffusion und der Ionentransport in und aus dem Zahnschmelz eingeschränkt (Zahradnik et al., 1977 und Zahradnik et al., 1978; Slomiany et al., 1986). Meurman und Frank (1991a) haben mittels der Elektronenmikroskopie den Effekt von Speichelpellikel auf Schmelzerosionen untersucht. Hierbei wurden aus Rinderzähnen Schmelzproben hergestellt und mit Ausnahme einer labialen Versuchsfläche ganz mit Nagellack bedeckt. Ein Teil der Schmelzproben wurde für sieben Tage in Speichel bei 37°C gelagert (der Speichel wurde täglich erneuert), um ein Pellikel zu erzeugen. Anschließend wurden die Schmelzproben für 120 Minuten in ein saures Colagetränk gelegt (10 ml, pH 2,58). Die Schmelzproben mit ungeschützten, pellikelfreien Versuchsflächen zeigten eindeutig erosive Schäden, wobei die Prismenkerne generell aufgelöst wurden. Das Pellikel stellte sich im Elektronenmikroskop als eine dünne, filmähnliche Struktur dar, die die

Proben jedoch nicht vollständig mit einem homogenen Film bedeckte. Dennoch war erosive Substanzverlust bei diesen Proben geringer als bei den Kontrollproben.

In einer Studie von Hannig und Balz (2001) wurde die protektive Wirkung und die Ultrastruktur des Pellikels untersucht. An Rinderzahnschmelz mit und ohne Pellikel wurde nach der Applikation von 0,1%-iger und 1%-iger Säure für Zeiten zwischen 30 Sekunden und fünf Minuten die Oberflächenhärte gemessen. Zusätzlich wurde zwischen linguale, den Speicheldrüsen nahen, und bukkale Flächen unterschieden. Außerdem wurde elektronenmikroskopisch die Schmelzoberfläche untersucht. Durch das Pellikel wurde der Zahnschmelz vor Erosionen geschützt. Es wurde eine signifikante Verminderung der durch die Erosionen verursachten Oberflächenerweichung gemessen. Zwischen denen den Speicheldrüsen nahen und den entfernten Flächen wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt. Die elektronenmikroskopische Analyse ergab, dass das Pellikel kontinuierlich durch die Säure aufgelöst wurde, aber sogar nach fünfminütiger Exposition mit 1%-iger Zitronensäure konnte noch immer eine restliche Schicht des Pellikels nachgewiesen werden.

Nieuw Amerongen et al. (1987) haben in einer in vitro Studie den hemmenden Einfluss des Pellikels auf die Demineralisierung an der Zahnoberfläche untersucht, indem Schmelzproben in verschiedene Typen von Speichel für eine Zeitdauer von einer Minute bis hin zu sechs Tagen eingebracht wurden. Erosive Substanzverluste wurden mit 1%-iger Zitronensäure für eine Minute erzeugt. Ein Pellikel, welches aus unstimuliertem Gesamtspeichel gebildet worden war, bot ungefähr einen 45%-igen Schutz vor Demineralisation und ein Pellikel aus Parotisspeichel einen 25%-igen Schutz. Dagegen bot ein aus der Glandula submandibularis und Glandula sublingualis gewonnenes Speichelpellikel (SM-SL-Speichel) schon nach 30 Minuten einen Schutz von ungefähr 40% und einen kompletten Schutz nach nur 60 Minuten; eine signifikante Hemmung der Demineralisierung wurde schon nach neun Minuten wahrgenommen. Demgegenüber hatte ein Pellikel, das aus Parotisspeichel gebildet worden war, die geringste Schutzwirkung; hier erbrachte die Inkubation für einen Tag nur eine 20%-ige Hemmung der

Demineralisierung. Nach sechs Tagen schützte das Pellikel aus SM-SL-Speichel (Muzin enthaltend) den Zahnschmelz vollständig unter diesen Bedingungen, wohingegen das Pellikel aus Parotisspeichel nur einen 25%-igen Schutz und das Pellikel aus Gesamtspeichel einen 45%-igen Schutz bot. Um nun herauszufinden, welche Proteinfraction des SM-SL-Speichels für das schützende Verhalten verantwortlich war, wurden die Muzine mittels Ultrazentrifugation entfernt. Ein aus diesem muzinfreien SM-SL-Speichel gebildetes Pellikel hemmte die Demineralisation nur um 35%; daraus wurde geschlossen, dass die schützende Wirkung vor allem den Speichelmuzinen zugeschrieben werden kann. Das Pellikel, welches über drei Tage aus den Speichelmuzinen in vitro gebildet wurde, bot einen 100%-igen Schutz gegen Demineralisation durch 1%-ige Zitronensäure. Die zitierten Studien konnten ebenso wie die vorliegende Arbeit eine protektive Wirkung des Speichels nachweisen. Diese Schutzwirkung war jedoch bei den Probanden sehr unterschiedlich ausgeprägt, so dass hier ein wesentlicher prädisponierender Faktor für erosiv bedingte Mineralverluste vermutet werden kann. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 5.2.3 näher eingegangen.

5.2.2 Einfluss der Fluoridapplikation auf den Mineralgehalt

Bei allen Probanden konnte durch die Fluoridapplikation ein signifikant verringerter Mineralverlust beobachtet werden. Im Vergleich zu der Gruppe ohne Fluoridapplikation war der Mineralverlust nach der Verwendung der fluoridhaltigen Zahnpaste etwa um die Hälfte reduziert. Darüber hinaus war der Mineralverlust nach der Intensivfluoridierung erneut um etwa zwei Drittel verringert.

Der Wirkungsmechanismus der applizierten Fluoride in bezug auf Erosionen besteht in einem Mineralzugewinn sowie in der Wiedererhärtung der durch Säure erweichten Zahnhartsubstanz. Nach Applikation von Fluorid in Form von Zahnpaste, Mundspüllösung oder Fluoridgel präzipitiert Fluorid als eine CaF_2 -ähnliche Deckschicht auf den

Zahnoberflächen (Grobler et al., 1981; Dijkman et al. und Øgaard et al., 1983).

Studien von Nelson et al. (1983 und 1984), bei denen elektronenmikroskopisch die Kalziumfluoridauflagerungen nach Fluoridierung mit verschiedenen Präparaten (Medinos® Fluoridgel, Duraphat®, Fluor Protector®) untersucht wurden, konnten zeigen, dass diese Präzipitate eine erhebliche Schichtdicke erreichen können. Dabei wurden menschliche Schmelzproben mit den verschiedenen Produkten fluoridiert und für 16 Stunden in destilliertem Wasser bei 37°C aufbewahrt. Die CaF₂-ähnlichen Deckschichten zeigte eine Dicke von 0,2 bis 2 µm.

Ganss et al. (2001) fanden in der bereits erwähnten in vitro Studie bei der Kontrollgruppe Mineralverluste von 4,9 µm, nach Zahnpastenfluoridierung 4,3 µm und nach Intensivfluoridierung 3,9 µm pro erosivem Angriff. Die Unterschiede von 0,3 und 1,0 µm korrelieren mit der von Nelson et al. (1983, 1984) ermittelten Dicke der CaF₂-ähnlichen Deckschicht. Damit wäre anzunehmen, dass der beste Effekt mit einer Fluoridierungsmaßnahme erreicht werde, bei der eine möglichst dicke CaF₂-ähnliche Deckschicht entsteht.

Saxegaard und Rølla (1988) untersuchten in vitro die Bildung solcher Deckschichten im Zusammenhang mit verschiedenen Zeitintervallen, Fluoridkonzentrationen und pH-Werten. Sie konnten zeigen, dass die Menge an KOH-löslichem Fluorid mit ansteigender Reaktionszeit zwischen Schmelz und Fluorid, bei saurem pH-Wert, ansteigenden Konzentrationen und erhöhter Kalziumverfügbarkeit anstieg. Dabei schien eine lange Reaktionszeit der wichtigste Faktor bei der Bildung von CaF₂-ähnlichen Deckschichten auf den Schmelzoberflächen zu sein. Sie zeigten, dass die Aufnahme von Fluorid nach einer Stunde etwa fünfmal höher war als nach fünf Minuten. Aber auch die Vorbehandlung des Schmelzes mit Kalziumchlorid ließ die Menge an KOH-löslichem Fluorid ansteigen.

Larsen et al. (1981) fluoridierten Schmelzproben mit verschiedenen Präparaten, unter anderem einem Präparat mit dem relativ niedrigem pH-Wert 3, und führten eine in situ Studie durch, bei der 56 Rinderschmelzproben auf vier Probanden aufgeteilt wurden. Die Fluoridierung

wurde mit einer 0,2%-igen, fünfminütigen Fluoridspülung, mit einem neutralen 2%-igem Fluoridgelee und mit einem sauren (pH 3) 2,73%-igem Fluoridgelee durchgeführt. Der Fluoridgehalt wurde mit einer ionenselektiven Elektrode analysiert. Es stellte sich heraus, dass die Proben, die mit dem sauren Fluoridierungsmittel fluoridiert wurden, einen signifikant höheren Fluoridgehalt aufwiesen. Die Studie zeigt, dass die Menge an gebildetem Kalziumfluorid auf dem Zahnschmelz im wesentlichen von dem Fluoridierungsmittel abhängt. Je höher die Fluoridkonzentration und je niedriger der pH-Wert, desto mehr Kalziumfluorid kann gebildet werden (Larsen et al., 1981). Ein Vergleich der Studien ist jedoch schwierig, da die Fluoridierungsbedingungen, vor allem die Dauer, sehr unterschiedlich gestaltet sind. Informationen über CaF_2 -haltige Deckschichten basieren meist auf Studien mit Langzeitapplikationen von hochdosiertem Fluorid wie z.B. Fluoridgelen oder -lacken (Nelson et al., 1983; Cruz et al., 1992). Es ist allerdings wenig über die Rolle von CaF_2 -haltigen Deckschichten bei kurzen Applikationszeiten von Fluoridprodukten bekannt.

Dazu untersuchte Petzold (2001) *in vitro* den Effekt von 0,1% fluoridhaltigen Aminfluoriden (AmF), Natriumfluoriden (NaF) in wässriger und saurer Lösung auf menschlichen Zahnschmelz. Ziel war es, besonders die frühe Formation und die Mikrostruktur von CaF_2 -haltigen Deckschichten während kurzen Applikationen von Fluoridprodukten bei verschiedenen pH-Werten zu beschreiben. Er konnte zeigen, dass sich nach Applikation von 0,1% Aminfluorid (pH 4,5) die ersten vereinzeltten Präzipitate (30 - 60 nm) schon nach 10 - 20 Sekunden absetzten. Nach einer Minute war die Schmelzoberfläche mit einer nahezu kontinuierlichen CaF_2 -ähnlichen Deckschicht bedeckt. Ähnliche Beobachtungen resultierten auch bei der Applikation von NaF (pH 4,5). Bei den mit NaF und AmF in wässriger Lösung behandelten Proben zeigten sich die ersten vereinzeltten Präzipitate erst nach einer Minute. Resultate der Transmissions-Elektronen Mikroradiografie (TEM) deuteten auf eine polykristalline Mikrostruktur der ersten zusammenhängenden Fluoridglobules mit einer Körnchengröße von etwa 2 und 20 nm hin (Petzold et al., 2000b).

Diese Werte korrelieren mit den Ergebnissen von Nelson et al. (1984). Es wurden keine systematischen Unterschiede in der generellen kristallinen Mikrostruktur und keine unterschiedliche Zusammensetzung des CaF_2 -Präzipitats gefunden. Somit können CaF_2 -ähnliche Deckschichten auch bei kurzen Applikationen, wie z.B. beim Zähneputzen oder bei Mundspülungen mit fluoridhaltigen Produkten, gebildet werden.

In der vorliegenden Studie wurde bei der Intensivfluoridierung mit der fluoridhaltigen Zahnpaste (pH 4,6), der Mundspüllösung (pH 4,2) und dem Elmex® gelée (pH 4,5) saure Präparate verwendet, die im Vergleich mit neutralen Fluoridierungsmitteln eine möglichst dicke CaF_2 -Deckschicht erzeugen können. Somit konnte ein effektiverer Schutz vor Erosionen durch die Intensivfluoridierung (-5 μm) im Vergleich zur Zahnpastenfluoridierung (-18,3 μm) erreicht werden. Dies belegt auch eine Studie von Attin et al. (1999), in der die Effektivität von verschiedenen Fluoridpräparaten in bezug auf Bürstabrasionen untersucht wurde. Dabei wurde Elmex® gelée (1,25% Fluorid) mit einem pH-Wert von 4,5 mit einem neutralem Fluoridierungsmittel verglichen. Die Erosionen wurden mit Sprite Light® durchgeführt. Die Schmelzproben, die mit dem sauren Fluoridierungsmittel behandelt wurden, zeigten nur ein Drittel des Mineralverlustes derer, die mit einem neutralen Fluoridierungsmittel behandelt wurden.

Über die Stabilität von Kalziumfluorid unter erosiven Bedingungen ist wenig bekannt. Einige klinische Studien weisen darauf hin, dass gebildetes Kalziumfluorid in 24 Stunden aufgelöst wird, wenn es dem oralen Milieu ausgesetzt wird (Brudevold et al., 1967). Neuere Studien jedoch zeigen, dass Kalziumfluorid im Speichel bei einem neutralen pH-Wert relativ schwer löslich ist. Die chemische Basis für die Stabilität im Speichel scheint durch Adsorption von sekundärem Phosphat, Fluorapatit und Proteinen an die Kalziumflächen in der Zahnoberfläche des Kalziumfluoridkristalls begründet zu sein (Chander et al., 1982, Rølla und Øgaard, 1986). In einer in vitro Studie von Ganss et al. (2001) zeigten die selben Fluoridierungsmaßnahmen wie in der vorliegenden Studie nur

einen geringen protektiven Effekt vor Erosionen. Die intensive Fluoridierung konnte den Mineralverlust im Schmelz um etwa 20% reduzieren. Davis und Winter (1977) zeigten nach einminütiger Fluoridierung mit einer Zahnpaste in vitro eine Reduktion der Erosion um 21%.

Beim Vergleich des Fluorideffekts lag der Mineralverlust in der vorliegenden in situ Studie bei Anwendung der fluoridhaltigen Zahnpaste bei etwa 85% und bei der Intensivfluoridierung um sogar 95% niedriger als bei der in vitro Studie von Ganss et al. (2001). Bei Betrachtung dieser Ergebnisse sollte jedoch die längere Dauer der Säureangriffe in vitro berücksichtigt werden. Trotz des zeitlichen Unterschieds scheint eine häufige und intensive Fluoridapplikation in situ effektiver zu sein als in vitro. Dies ist in bezug auf die protektive CaF_2 -Deckschicht zu erklären, die unter in situ Konditionen stabiler zu sein scheint als in vitro (Saxegaard et al., 1988). Saxegaard et al. untersuchten die Löslichkeit von Kalziumfluorid in menschlichem Speichel. Dazu wurden 10 ml Speichel und 10 ml destilliertem Wasser für drei Wochen 200 mg Kalziumfluorid zugesetzt. Sie fanden heraus, dass die Kalzium- und Fluoridkonzentrationen in Speichel nach drei Wochen signifikant geringer waren als in destilliertem Wasser. CaF_2 -haltige Deckschichten konnten auch nach drei Wochen auf der Schmelzoberfläche nachgewiesen werden, wobei die Proben in Wasser keine CaF_2 -haltige Deckschichten zeigten. Zudem setzten sie Kalziumfluorid in Intervallen von 15 Minuten 10 ml Speichel, destilliertem Wasser und phosphat- oder kalziumhaltigen Lösungen aus. Die Auflösung von Kalziumfluorid (24 Stunden) wurde in Speichel und in der phosphathaltigen Lösung im Gegensatz zu destilliertem Wasser und der kalziumhaltigen Lösung fast ganz verhindert. Die Adsorption von Phosphationen an die Kalziumfluoridkristalle spielte somit auch in den Kurzzeitexperimenten eine wichtige Rolle bei der Verringerung der Auflösung von CaF_2 -haltigen Deckschichten.

In einer neueren Studie von Rudolph (2002) wurde die Retention von lose gebundenem Fluorid unter milden erosiven Bedingungen in vitro untersucht. Dazu wurden Schmelzproben hergestellt, die für drei Minuten mit einer Aminfluoridlösung (1,23% F^-) fluoridiert wurden. Das KOH-

lösliche Fluorid wurde mit einer ionenselektiven Elektrode bestimmt, erosive Bedingungen mit Sprite Light® (pH 2,8) dreimal täglich für 30 Sekunden erzeugt und alle Proben während des Versuches in künstlichem Speichel gelagert. Die Fluoridbestimmung erfolgte eine Stunde nach Fluoridierung sowie zwei und vier Tagen unter erosiven Bedingungen. Zur Kontrolle dienten je 20 weitere Schmelz- und Dentinproben, die nach Fluoridierung für vier Tage in künstlichem Speichel aufbewahrt worden waren. Nach einem hohen Ausgangsfluoridgehalt ($96 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) ergab sich nach zwei Tagen unter erosiven Bedingungen ein initial hoher Fluoridverlust ($10,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) und nach vier Tagen unter erosiven Bedingungen ein weiterer moderater Fluoridverlust ($6,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Nach vier Tagen ohne erosive Bedingungen waren noch $16,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ vorhanden. Es stellte sich heraus, dass es selbst unter milden erosiven Bedingungen in vitro zu einem raschen Verlust von KOH-löslichem Fluorid im Schmelz kommt.

Diese Studie wurde auch in situ durchgeführt (Rudolph, 2002). Wie bereits erwähnt, kann eine CaF_2 -ähnliche Deckschicht durch die Anlagerung von Speichelbestandteilen stabilisiert werden. Ziel der Studie war daher, die Retention von lose gebundenem Fluorid unter milden erosiven Bedingungen in situ zu bestimmen. Dazu wurden die Proben für drei Minuten mit einer Aminfluoridlösung (1,23% F^-) fluoridiert und in vier Gaumenplatten befestigt. Das KOH-lösliche Fluorid wurde wie bei der in vitro Studie bestimmt. Erosive Bedingungen wurden dreimal täglich intraoral mit 200 ml Sprite Light® (pH 2,8) über zwei Minuten erzeugt. Die Fluoridbestimmung erfolgte nach drei und sieben Tagen in situ und zur Kontrolle nach sieben Tagen in situ ohne erosive Einflüsse. Die Menge an KOH-löslichem Fluorid im Schmelz betrug direkt nach der Fluoridierung $77,9 \pm 12,3$, nach zwei Tagen unter erosiven Bedingungen in situ $66,9 \pm 4,6$, nach sieben Tagen $54,1 \pm 17,4$ und nach sieben Tagen ohne Erosion in situ $42,3 \pm 12,9 \mu\text{gF}^-/\text{cm}^2$. Im Vergleich zu den Negativkontrollproben ($0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) zeigte sich besonders in situ eine hohe Stabilität des KOH-löslichen Fluorids trotz erosiver Einflüsse.

Diese beiden Studien zur Stabilität CaF_2 -ähnlichen Deckschichten in vitro und in situ erklären gut die unterschiedliche Effektivität von

Fluoridierungsmaßnahmen in bezug auf den erosiv bedingten Mineralverlust in vitro und in situ. Die ermutigenden Resultate in der vorliegenden Studie rechtfertigen weitere Untersuchungen zur Optimierung der Fluoridierungsempfehlungen. Da in vitro Versuche offenbar wenig aussagekräftig sind, sollten Fluoridierungsmaßnahmen im Rahmen einer symptomatischen Therapie von säurebedingten Zahnhartsubstanzdefekten in in situ Studien untersucht werden.

5.2.3 Vergleich der Probanden

Bei der vergleichenden Betrachtung der Probanden in den einzelnen Versuchsgruppen zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich des Mineralverlustes sowohl in der Kontroll- als auch in der Zahnpasten- und in der Intensivfluoridierungsgruppe. So zeigte das Mundmilieu bei Proband 2 fast keine Schutzwirkung vor Erosionen, denn die Werte für den Zahnhartsubstanzverlust ($-52,9 \pm 11,2 \mu\text{m}$) waren mit denen des in vitro Versuchs ($-58,4 \pm 9,3 \mu\text{m}$) vergleichbar. Die größte Schutzwirkung vor Erosionen zeigte Proband 3, bei dem nur ein Mineralverlust von $-27,5 \pm 15,8 \mu\text{m}$ aufgetreten war.

Eine Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Probanden in dem Versuch ohne Fluorid ist möglicherweise in der individuell unterschiedlichen Zusammensetzung und Qualität des Speichels, insbesondere des Pellikels, zu suchen. Zu diskutieren wäre in diesem Zusammenhang ein unterschiedlicher Gehalt an Muzinen im Speichel. Die bereits erwähnte Studie von Nieuw Amerongen et al. (1987) ergab, dass ein muzinreiches Pellikel besser vor einem Zitronensäureangriff schützt. Amaechi et al. (1999) untersuchten die Dicke des Pellikels. Sie fanden heraus, dass die Pellikeldicke zwischen den Probanden und innerhalb der verschiedenen Zahnseiten variiert. Sie präparierten dazu je acht Schmelzproben von fünf Rinderzähnen und verteilten diese auf eine Kontrollgruppe und fünf Probanden. Die Schmelzstücke wurden mittels Bonding auf die Zahnoberflächen der Probanden angebracht. Nach einer Stunde wurde die Pellikeldicke mit einem speziellen Mikroskop gemessen. Die Erosion erfolgte in beiden

Gruppen für zwei Stunden mit Orangensaft. Der Mineralverlust wurde mit der TMR gemessen. Die Variationen der Pellikeldicke innerhalb der verschiedenen Zahnseiten (0,3 bis 1,06 μm) und zwischen den Probanden (0,5 bis 0,73 μm) korrelieren dabei negativ mit dem Mineralverlust. Eine Pellikeldicke von 0,5 bis 1,0 μm (Lenz und Mühlemann, 1963 b) und 0,5 μm (Kuroiwa et al., 1994) wurde mit Hilfe eines Elektronenmikroskops bei Studien über Remineralisation von erodierten Schmelzoberflächen in Kontakt mit Speichel gemessen. Die unterschiedliche Pellikeldicke bei den Probanden könnte im Zusammenhang mit der variierenden Quantität der an die Schmelzoberfläche adsorbierten Speichelproteine und Glykoproteine stehen (Sönju und Rølla, 1973).

Auch bei den Versuchen mit Fluorid zeigten sich zwischen den Probanden signifikante Unterschiede. Während bei Proband 2 und 3 die alleinige Zahnpastenfluoridierung nur etwa halb so effektiv war wie die Intensivfluoridierung, zeigten sich bei Proband 1 und 4 die Zahnpastenfluoridierung als so effektiv, dass durch Intensivfluoridierung nur noch ein relativ geringer zusätzlicher Effekt beobachtet werden konnte. Somit scheint es bei der symptomatischen Therapie von Erosionen wichtig zu sein, die geeignete Fluoridapplikation für den jeweiligen Patienten zu bestimmen. Dazu könnte z.B. ein besonderes Messverfahren für die Patienten entwickelt werden, um den Effekt der unterschiedlichen Fluoridapplikationen individuell bewerten zu können. Die geringsten Unterschiede fanden sich in der Intensivfluoridierungsgruppe. Selbst bei Proband 2, bei dem im Versuch ohne Fluorid ein mit dem Laborversuch vergleichbarer Mineralverlust gemessen wurde, zeigte nach der Intensivfluoridierung nur noch einen Wert von $-12,1 \pm 10,9 \mu\text{m}$. Damit scheint diese Fluoridierungsmaßnahme auch bei besonders prädisponierten Patienten wirksam zu sein. Bei Proband 3 und 4 konnte der Mineralverlust sogar vollständig verhindert werden.

Die Anwendung der Intensivfluoridierung ist jedoch aufwendig, da zusätzlich zur Zahnpastenfluoridierung noch die Mundspüllösung und das Fluoridgel benötigt werden. Bei der Intensivfluoridierung könnten auch andere Komplikationen auftreten, wie z.B. bei Proband 1 und 3. Bei ihnen wäre z.B. die symptomatische Therapie der Intensivfluoridierung nicht

dauerhaft anwendbar, da bei ihnen nach zwei bis drei Tagen Schleimhautirritationen auftraten.

Zusammenfassend hat die vorliegende Untersuchung gezeigt, dass lokale Fluoridapplikationen bei der symptomatischen Therapie von Erosionen Zahnhartsubstanzverluste von menschlichem Zahnschmelz in situ signifikant verringern konnten. Da jedoch das Ausmaß des Säureangriffes individuell erhebliche Unterschiede aufweisen und über die in dem vorliegenden Versuch weit hinausgehen kann, sollten bei Personen mit Erosionen im Allgemeinen häufige und hochdosierte Fluoridapplikationen empfohlen werden. Neben den individuell unterschiedlichen Säureangriffen können auch prädisponierende Faktoren die Fluoridwirkung beeinflussen. Daher sollte, wenn möglich, die Art der Fluoridierungsmaßnahmen nach Monitoring des Mineralverlustes abgestimmt werden, um eine individuelle symptomatische Therapie empfehlen zu können.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Säurebedingte Zahnhartsubstanzdefekte bedürfen in der Regel keiner invasiv/restaurativen Therapie, wenn ausreichende kausale und symptomatische Therapieformen gefunden werden. Dabei ist wenig darüber bekannt, welche Rolle lokale Fluoridapplikationen spielen können. Ziel der vorliegenden in situ Untersuchung war es, in einem mehrtägigen De- und Remineralisationszyklus die Effektivität von Fluorid im Rahmen einer symptomatischen Therapie zu quantifizieren.

Die Studie wurde im cross-over Design mit vier Probanden durchgeführt. Dazu wurden aus 32 operativ entfernten menschlichen Weisheitszähnen parallel zur Zahnoberfläche jeweils vier Schmelzproben mit einer Dicke von ca. 400 μm und einer durchschnittlichen Größe von 2 - 3 mm^2 präpariert und in Gaumenplatten (je acht Proben) eingebracht. Die Platten wurden bis auf die Mahlzeiten ganztags getragen. Die Erosionen wurden extraoral sechsmal täglich für fünf Minuten mit 0,05 molarer Zitronensäure (pH 2,3) erzeugt. Die Fluoridapplikation erfolgte entweder als Zahnpastenfluoridierung (0,14% F^- als SnF_2 /Olaflur) dreimal täglich für fünf Minuten oder als Intensivfluoridierung mit zusätzlich dreimal täglich fünf Minuten Spülung mit einer fluoridhaltigen Lösung (0,025% F^- als SnF_2 /Olaflur) und am ersten und dritten Tag der Applikation eines Fluoridgels (1,25% F^- als NaF/Olaflur). In der Kontrollgruppe wurden die Proben nur erodiert und getragen. Zusätzlich wurden Proben in einem in vitro Versuch in physiologischer Kochsalzlösung gelagert und erodiert. Der Mineralverlust wurde mit der longitudinalen Mikroradiografie (LMR) als Differenz des Basismineralgehalts und des Mineralgehalts (μm) nach fünf Versuchstagen ermittelt.

Der größte Mineralverlust fand sich bei den Proben, die erodiert und in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt wurden ($-58,4 \pm 9,3 \mu\text{m}$). Im Vergleich dazu war der Mineralverlust bei den Proben, die erodiert und im Mund getragen wurden, mit $-40,7 \pm 15,1 \mu\text{m}$; ($p \leq 0,001$) deutlich geringer. Durch die Fluoridapplikation konnte der erosiv bedingte Substanzverlust deutlich reduziert werden. Allein die Zahnpastenfluoridierung verringerte den Substanzverlust etwa um die Hälfte auf $-18,3 \pm 12,4 \mu\text{m}$; ($p \leq 0,001$).

Eine noch bessere Wirksamkeit zeigte die Intensivfluoridierung. Der Substanzverlust betrug hier nur noch $-5,0 \pm 12,2 \mu\text{m}$; ($p \leq 0,001$), wobei bei einzelnen Proben sogar ein Mineralgewinn beobachtet werden konnte. Bei der Betrachtung der einzelnen Probanden fand sich sowohl ein deutlicher Unterschied im Hinblick auf die Schutzwirkung des Speichels als auch in bezug auf die Fluoridwirkung. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass eine Intensivfluoridierung den Mineralverlust auch unter starken erosiven Bedingungen nahezu verhindern kann. Aufgrund der individuellen Unterschiede in der Prädisposition gegenüber Erosionen und der unterschiedlichen Wirksamkeit von Fluorid sollte, wenn irgendwie möglich, die Art der Fluoridierungsmaßnahmen nach Monitoring des Substanzverlustes individuell abgestimmt werden.

8 LITERATURVERZEICHNIS

Aeschenbacher, M.:

Die Erweichung der Schmelzoberfläche durch Fruchtsäfte unter in vitro Bedingungen.
Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1967; 77: 58-62.

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.

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.

Amaechi, B.T.; Higham, S.M.; Edgar, W.M.; Milosevic, A.:

Thickness of acquired pellicle as a determinant of the sites of dental erosion.
J Dent Res 1999; 78: 1821-1828.

Arends, J.; ten Bosch, J.J.:

Demineralisation and remineralisation evaluation techniques.
J Dent Res 1992; 42: 243-250.

Asher, C.; Read M.J.F.:

Early enamel erosion in children associated with the excessive consumption of citric acid.
Br Dent J 1987; 162: 384-387.

Attin, T.; Buchalla, W.; Gollner, M.; Hellwig, E.:

Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel.
Caries Res 2000; 34: 48-52.

Attin, T.; Deifuss, H.; Hellwig, E.:

Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel.
Caries Res 1999; 33: 135-139.

Attin, T.; Hilgers, R.-D.; Hellwig, E.:

Beeinflussung des erosionsbedingten Oberflächenhärteverlusts von Zahnschmelz durch Fluorid.
Dtsch Zahnärztl Z 1997a; 52: 241-245.

Attin, T.; Hilgers, R.-D.; Hellwig, E.:

Einfluss von Muzin im Speichel auf die Entstehung von Schmelzerosionen.
Dtsch Zahnärztl Z 1996; 51: 506-510.

- 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.
- Attin, T.; Zirkel, C.; Hellwig, E.:**
Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions.
Caries Res 1998;32: 344-350.
- Attix, F.N.; Roesch, W.C.:**
Basic concepts of dosimetry.
In: Attix, Roesch (Hrsg.): Radiation Dosimetry 1.
Academic Press, London 1968.
- Bartlett, D.W.; Coward, P.Y.; Nikkah, C. Wilson, R.F.:**
The prevalence of tooth wear in a cluster sample of adolescent school children and its relationship with potential explanatory factors.
Br Dent J 1998; 184: 125-129.
- Bartlett, D.W.; Smith, B.G.N.; Wilson, R.F.:**
Comparison of the effect of fluoride and non- fluoride toothpaste on tooth wear in vitro and the influence of enamel fluoride concentration and hardness of enamel.
Br Dent J 1994; 176: 346-348.
- Beiraghi, S.; Atkins, S.; Rosen, S.; Odom, J.; Beck, M.:**
Effect of calcium lactate in erosion and S. mutans in rats when added to Coca-Cola.
Ped Dent 1989; 11: 312-315.
- Bieri, J.G.; McCay, C.M.; Restarski, J.S.; Gortner, R.A.:**
Further studies on in vivo tooth decalcification by acid beverages.
Arch Biochem 1946; 11: 33-40.
- 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.
- Brady, J.M.; Woody, R.D.:**
Scanning microscopy of cervical erosion.
J Am Dent Assoc 1977, 94: 726-729.
- Brawdy, W.F.:**
The anorexia nervosa syndrome.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1980; 50: 509-516.
- Brosowsky, A.:**
Die Wirkung von organischen und Mineralsäuren auf die Zahnhartsubstanz bei verschiedenen pH-Werten.
Dtsch Zahnärztl Z 1966; 21: 1139-1147.

Brudevold, F.:

Solubility of intact enamel.
J Dent Res 1947; 26: 440-441.

Brudevold, F.; McCann, H.G.; Nilsson, R; Richardson, B.; Coklica, V.:

The chemistry of caries inhibition, problems and challenges in topical treatments.
J Dent Res 1967; 46: 37-45.

Brickley, M.; Shepherd, J.P.:

Alcohol intoxication and dependence in adult dental out-patients.
J Dent Res 1989; 68: 591, (Abstract).

Bundesverband der deutschen Erfrischungsgetränke-Industrie e.V.:

Entwicklung des pro- Kopf- Verbrauchs von Erfrischungsgetränken nach Getränkearten.
Quelle: Firma Rudolf Wild 1999.

Chander, S.; Chiao, C.C.; Fuerstenau, B.W.:

Transformation of calcium fluoride for caries prevention.
J Dent Res 1982; 61: 403-407.

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.

Christen, A.G.:

Dentistry and the alcoholic patient.
Dent Clin North Am 1983; 27: 341-361.

Centerwall, B.S.; Armstrong, C.W.; Funkhouser, L.S.; Elzay, R.P.:

Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool.
Am J Epidemiol 1986; 123: 641-647.

Cooper, P.J.; Charnock, J.; Taylor, M.J.:

The prevalence of bulimia nervosa.
Br J Psychiatry 1987; 151: 684-686.

Cruz, R.; Ögaard, B.; Rölla, G.:

Uptake of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in sound human enamel after topical application of a fluoride varnish (Duraphat) or a neutral 2% NaF solution in vitro.
Scand J Dent Res 1992; 100: 154-158.

Davis, W.B.; Winter, P.J.:

Dietary erosion of adult dentine and enamel: Protection with a fluoride toothpaste.
Brit Dent J 1977; 143: 116-119.

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.

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.

De Josselin de Jong, E.; ten Bosch, J.J.; van der Linden, A.H.M.:

Longitudinal Microradiographie, a new nondestructive quantitative method to follow mineral changes in mineralized tissue slice.

Comparison of methods in Caries research 1987, Chapt 5.

De Josseling 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.

Dijkman, A.G.; de Boer, P.; Arends, J.:

In vivo investigation on the fluoride content in and on human enamel after topical applications.

Caries Res 1983; 17: 392-402.

Eccles, J.D.:

Erosion affecting the palatal surface of upper anterior teeth in young people.

Br Dent J 1982a; 152: 375-378.

Eccles, J.D.:

Tooth surface loss from abrasion, attrition and erosion.

Dent Update 1982b; 9: 373-381.

Eccles, J.D.; Jenkins, W.G.:

Dental erosion and diet.

J Dent 1974; 2: 153-159.

Edwards, M; Ashwood, R.A.; Littlewood, S.J.; Brocklebank, L.M.; Fung, D.E.:

A videofluoroscopic comparison of straw and cup drinking: the potential influence on dental erosion.

Br Dent J 1998; 185: 244-249.

Eisenburger, M.; Hughes, J.; West, N.X.; Jandt, K.D., Addy, M.:

Ultrasonication as method to study enamel demineralisation during acid erosion.

Caries Res 2000; 289-294.

Ericsson, S.G.:

Clinical investigation of the salivary buffering action.
Acta Odontol Scand 1959; 17: 131-134.

Ericsson, S.G.:

Quantitative microradiography of cementum and abraded dentine.
Acta Radiol 1965, 246: 1-137.

Friedrich, D.:

In situ Studie zur Ausprägung von Bürstabrasionen an erodiertem Schmelz in Abhängigkeit von Putzzeitpunkt und Fluorideinsatz.
Med Diss, Gießen 2001.

Fuller, J.L.; Johnson, W.W.:

Citric acid consumption and the human dentition.
J Am Dent Assoc 1977; 95: 80-84.

Ganss, C.; Schlechtriemen, M.; Klimek, J.:

Dental erosions in individuals with raw food diet.
Caries Res 1999, 33: 74-80.

Ganss, C.; Klimek, J.; Schäffer, U.; Spall, T.:

Effect of fluoride and remineralisation on dental erosion progression.
Caries Res 2001; 35: 325-330.

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 demineralization.
Arch Oral Biol 2000; 45: 897-902.

Ganss, C.; Lussi, A.; Klimek, J.:

Comparison of calcium analysis, longitudinal microradiography and profilometry for the quantitative assessment of erosive demineralisation.
Caries Res 2001;35:296 (Abstract).

Ganss, C.; Klimek, J.; Giese, K.:

Dental erosions in children and adolescents: a cross-sectional and longitudinal investigation using study models.
Community Oral Epidemiol 2001; 29: 264-271.

Gedalia, I.; Dakuar, A.; Shapira, L.; Lewinstein, I.; Goultschin, J.; Rahamim, E.:

Enamel softening with Coca-Cola and rehardening with milk or saliva.
Am J Dent 1991a; 4: 120-122.

Gedalia, I.; Galon, H.; Rennert, A.; Biderco, I.; Mohr, I.:

Effect of fluoridated citrus beverage on dental caries and on fluoride concentration in the surface enamel of children's teeth.
Caries Res 1981; 15: 103-108.

- Gedalia, I.; Ionat-Bendat, D.; Ben-Mosheh, S.; Shapira, L.:**
Tooth enamel softening with a cola type drink and rehardening with hard cheese or stimulated saliva in situ.
J Oral Rehabil 1991b; 18: 501-506.
- Giunta, J.L.:**
Dental erosion resulting from chewable vitamin C tablets.
J Am Dent Assoc 1983, 107: 253-256.
- Götestam, K.G.; Agras, W.S.:**
General population-based epidemiological study of eating disorders in Norway.
Int J Eat Disord. 1995; 18:119-126.
- Graf, F.:**
Über die Entkalkung des Zahnschmelzes durch Fruchtsäuren und Tafelgetränke.
Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1953; 63: 3-32.
- Grenby, T.H.:**
In vitro Experimente über die Auswirkungen von Erfrischungsgetränken auf die Zahnhartsubstanz.
Oralprophylaxe 1990; 12: 103-113.
- Grenby, T.H.:**
Lessening dental erosive potential by product modification.
Eur J Oral Sci. 1996; 104: 221-228.
- Grobler, S.R.; Senekal, P.J.C.; Kotze, T.J.v.W.:**
The degree of enamel erosion by five different kinds of fruit.
Clin Prev Dent 1989; 11: 23-28.
- 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.
- Hall, A.F.; Buchanan, C.A.; Millett, D.T., Creanor, S.L.; Strang, R.; Foye, J.H.:**
The effect of saliva on enamel and dentin erosion.
J Dent Res 1999; 27: 333-339.
- Hall, A.F.; Sadler, J.P.; Strang, R.; de Josseling, D.J., Foye, J.H.; Creanor, S.L.:**
Application of transverse microradiography for measurement of mineral loss by acid erosion.
Adv Dent Res 1997; 11: 420-425.
- Hannig, M.:**
Mikromorphologische Veränderungen an der Schmelzoberfläche durch verschiedene Säuren.
ZWR 1993, 102: 604-611.

Hannig, M.; Albers, H.-K.:

Die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure an Zahnschmelz und Dentin in vitro.

Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 298-302.

Hannig, M.; Balz, M.:

Protective properties of salivary pellicles from two different intraoral sites on enamel erosion.

Caries Res 2001; 35: 142-148.

Hannig, M.; Rogalla, K.; Albers, H.-K.:

Scanning electron microscopy study of the erosive action of acetylsalicylic acid on human dental enamel in comparison with other acidic agents.

Drug Invest 1992; 4: 484-491.

Hay, D.I.; Pinsent, B.R.W.; Schram, C.J.; Wag, B.J.:

The protective effect of calcium and phosphate ions against acid erosion of dental enamel and dentin.

Br Dent J 1962; 112: 283-287.

Hellström, I.:

Anorexia nervosa: Dental problems.

Swed Dent J 1974; 67: 253-269.

Hellström, I.:

Oral complications in anorexia nervosa.

Scand J Dent Res 1977; 85: 71-86.

Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.:

Einführung in die Zahnerhaltungskunde.

Urban und Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore 1995.

Hickel, R.:

Schmelzschäden durch Säureeinwirkung.

Zahnärztliche Mitt 1989; 79: 1298-1305.

Hinds, K.; Gregory, J.R.:

National diet and nutrition survey: children aged 11/2 to 41/2 years.

Volume 2: Report of the dental survey.

London: Her Majesty's Office 1995.

Holloway, P.J.; Mellanby, M.; Stewart, R.J.C.:

Fruit drinks and tooth erosion.

Br Dent J 1958; 105: 305-309.

Hotz, P.R.:

Erosion des Zahnschmelzes.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 1987; 97: 219-222.

Hughes, J.A.; West, N.X.; Parker, D.M.; Newcombe, R.G.; Addy, M.;

Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink 3. Final drink and concentrate, formulae comparisons in situ and overview of the concept.

J Dent 1999; 27: 345-350.

Imfeld, T.:

Dental erosion. Definition, classification and links.

Eur J Oral Sci 1996; 104: 151-155

Imfeld, T.:

Identification of low caries risk dietary components.

Karger, Basel 1983, S. 165-174.

Jaeggi, T.; Schaffner, M.; Burgin, W.; Lussi, A.:

Erosions and wedge-shaped defects in Swiss Army recruits.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 1999; 109:1170-1182.

Järvinen, V.K.; Rytömaa, J.; Heinonen, O.P.:

Risk factors in dental erosion.

J Dent Res 1991; 70: 942-947.

Khan, F.; Young, W.G.; Shahabi, S.; Daley, T.J.:

Dental erosion and bruxism. A tooth wear analysis from south east Queensland.

Aust Dent J 1998 ;43: 117-127.

Künzel, W.; Cruz, M.S.; Fischer, T.:

Dental erosion in Cuban children associated with excessive consumption of oranges.

Eur J Oral Sci 2000; 108: 104-109.

Kuroiwa, M., Kodaka, T., Kuroiwa, M., Abe, M.:

Brushing induced effects with and without a non- fluoride abrasive dentifrice on remineralization of enamel surfaces etched with phosphoric acid.

Caries Res 1994; 28: 309-314.

Larsen, M.J.:

Demineralisation of human enamel.

Scand J Dent Res 1974a; 82: 491-495.

Larsen, M.J.:

In vitro studies of fluoride uptake in human enamel.

Scand J Dent Res 1974b; 82: 448-454.

Larsen, M.J.:

On the chemical and physical nature of erosions and caries lesions in dental enamel.

Caries Res 1991; 25: 323-329.

- Larsen, M.J.; Lambrou, D.; Fejerskov, O; Tachos, B.:**
A study on accumulation and release of loosely bound fluoride on enamel.
Caries Res 1981; 15: 273-277.
- Larsen, M.J.; Nyvad, B.:**
Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate.
Caries Res 1999; 33: 81-87.
- Larsen, M.J.; Richards, H.:**
The influence of saliva on the formation of calcium fluoride-like material on human dental enamel.
Caries Res 2001; 35: 57-60.
- Legler, L.R.; Retief, D.H.; Bradley, E.L.:**
Effects of phosphoric acid concentration and etch duration on enamel depth of etch: An in vitro study.
Am J Orthod Dentofacial Orthop 1990, 98: 154-160.
- Lenz, H.; Mühlemann, H.R.:**
In vivo and in vitro effects of saliva on etched or mechanically marked enamel after certain periods of time.
Helv Odontol Acta 1963a; 7: 30-33.
- Lenz, H.; Mühlemann, H.R.:**
Repair of etched enamel exposed to the oral environment.
Helv Odontol Acta 1963b; 7: 47-49.
- Levine, R.S.:**
Fruit juice erosion - an increasing danger ?
J Dent 1973; 2: 85-88.
- Linkosalo, E.; Markkanen, H.:**
Dental erosions in relation to lactovegetarian diet.
Scand J Dent Res 1985; 93: 436-441.
- Linkosalo, E.; Markkanen, S.; Alakuijala, P.; Seppä, L.:**
Effects of some commercial health beverages, effervescent vitamin C preparations and berries on human dental enamel.
Proc Finn Dent Soc 1988; 84: 31-38.
- Liss, J.:**
Untersuchungen über das Verhalten der Schmelzoberfläche beim Genuß von sauren Früchten.
Dtsch Zahnärztl Z 1966; 21: 1134-1139.
- Lussi, A.**
Dental erosion clinical diagnosis and case history taking.
Eur J Oral Sci. 1996; 104: 191-198.

Lussi, A.; Jäggi, T.; Schärer, S.:

The influence of different factors on in vitro enamel erosion.
Caries Res 1993; 27: 387-393.

Lussi, A.; Schaffner, M.; Hotz, P.; Suter, P.:

Dental erosion in a population of Swiss adults.
Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 286-290.

Mannerberg, F.:

Saliva factors in cases of erosion.
Odontol Revy 1963; 14: 156-166.

Maron, F.S.:

Enamel erosion resulting from hydrochloric acid tablets.
J Am Dent Assoc 1996; 127: 781-784.

McCay, C.M.; Will, L.:

Erosion of molar teeth by acid beverages.
J Nutr 1949; 39: 313-324.

McClure, F.J.; Ruzicka, S.J.:

The destructive effect of citrate vs. lactate ions on rats' molar tooth surfaces in vivo.
J Dent Res 1946; 25: 1-12.

Meurman, J.H.; Drysdale, T.; Frank, R.M.:

Experimental erosion of dentin.
Scand J Dent Res 1991; 99: 457-462.

Meurman, J.H.; Frank, R.M.:

Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel.
Caries Res 1991b; 25: 81-87.

Meurman, J.H.; Frank, R.M.:

Scanning electron microscopic study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion.
Caries Res 1991a; 25: 1-6.

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 1990 ; 98: 120-128.

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.

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.

Meurman, J.H.; ten Cate, J.M.:

Pathogenesis and modifying factors of dental erosion.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 199-206.

Miller, W.D.:

Experiments and observations on the wasting of tooth tissue erroneously designated as erosion, abrasion, denudation, etc.
Dent Cosmos 1907; 49: 109-124.

Miller, C.D.:

Enamel erosive properties of fruits and various beverages.
J Am Diet Assoc 1951; 28: 319-324.

Milosevic, A.; Dawson, L.J.:

Salivary factors in vomiting bulimics with and without pathological tooth wear.
Caries Res 1996; 30: 361-366.

Milosevic, A.; Young, P.J.; Lennon, M.A.:

The prevalence of tooth wear in 14-year-old school children in Liverpool.
Community Dent Health 1994; 11: 83-86.

Nelson, D.G.A.; Jongebloed, W.L.; Arends, J:

Crystallographic structure of enamel surface treated with topical fluoride agents: TEM and XRD considerations.
J Dent Res 1984; 63: 6-12.

Nelson, D.G.A.; Jongebloed, W.L.; Arends, J:

Morphology of enamel surfaces treated with topical fluoride agents: SEM considerations.
J Dent Res 1983; 62: 1201-1208.

Nieuw Amerongen, A.V.; Oderkerk C.H.; Driessen, A.A.:

Role of mucins from human whole saliva in the protection of tooth enamel against demineralization in vitro.
Caries Res 1987; 21: 297-309.

Noack, M.J.:

REM-Untersuchungen an Erosionen der Zahnhartsubstanzen in vivo.
Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 517-520.

Öhrn, R.; Enzell, K.; Angmar-Mansson, B.:

Oral status of 81 subjects with eating disorders.
Eur J Oral Sci. 1999; 107: 157-163.

O'Brien, M.:

Children's dental health in the United Kingdom 1993. Office of Population Census and Surveys.
London: Her Majesty's Stationary Office 1994.

Øgaard, B.; Rølla, G.; Helgeland, K.:

Uptake and retention of alkali-soluble and alkali-insoluble fluoride in sound enamel in vivo after mouthrinses with 0,05% or 0,2% NaF.
Caries Res 1983; 91: 200-204.

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.

Petzold, M.; Berthold, L.; Cismak, A.; Morawietz, K.:

A study of the microstructure of fluoride globuli formed after AmF und NaF treatment of enamel surfaces.
Caries Res 2000 b; 34: 354-355.

Pindborg, J.J.:

Pathology of the dental hard tissues. Chapter 9: chemical and physical injuries.
Munksgaard, Copenhagen 1970; 312-325.

Pyle, R.A.; Neuman, P.A.; Halvorsen, P.,; Michael, J.E.:

An ongoing cross sectional study of the prevalence of eating disorders in freshman college students.
Int J Eat Disord 1991; 18: 119-126.

Restarski, J.S.; Gortner, R.A.; McCay, C.M.:

Effect of acid beverages containing fluorides upon the teeth of rats and puppies.
J Am Dent Assoc 1945; 32: 668-675.

Reussner, G.H.; Coccodrilli, G.; Thiessen, R.:

Effects of phosphates in acid-containing beverages on tooth erosion.
J Dent Res 1975; 54: 365-370.

Reynolds, E.C.:

The prevention of sub-surface demineralization of bovine enamel and change in plaque composition by casein in an intra-oral model.
J Dent Res 1987; 66: 1120-1127.

Reynolds, E.C.; Black, C.L.:

Cariogenicity of a confection supplemented with sodium caseinate at a palatable level.
Caries Res 1989; 32: 368-370.

Reynolds, E.C.; Riley, P.F.; Storey, E.:

Phosphoprotein inhibition of hydroxyapatite dissolution.
Calcif Tiss Int 1982; 34: 52-56.

Robb, N.D.; Smith, B.G.N.:

Prevalence of pathological tooth wear in patients with chronic alcoholism.
Br Dent J 1990; 169: 367-369.

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.

Rogalla, K.; Finger, W.; Hannig, M.:

Influence of buffered and unbuffered acetylsalicylic acid on dental enamel and dentine in human teeth: An in vitro pilot study.
Methods Find Exp Clin Pharmacol 1992; 14: 339-346.

Rølla, G.; Øgaard, B.:

Studies on the solubility of calcium fluoride in human saliva.
Oxford: IRL Press Ltd. 1986; ed. Leach, S.A.: 45-50.

Rølla, G.; Saxegaard, E.:

Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition.
J Dent Res 1990; 69: 780-785.

Rudolph, L.:

Stabilität von KOH-löslichem Fluorid auf dem Zahnschmelz unter erosiven Bedingungen in vitro und in situ.
Med Diss Gießen 2002

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: 337-43.

Saxegaard, E.; Rølla, G.:

Fluoride acquisition on and in human enamel during topical fluorid application in vitro.
Scand J Dent Res 1988; 96: 523-535.

Scheutzel, P.:

Etiology of dental erosion – intrinsic factors.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 178-190.

Scheutzel, P.:

Zahnmedizinische Befunde bei psychogenen Eßstörungen.
Dtsch Zahnärztl Z 1992; 47: 119-123.

Scheutzel, P.; Meurmann, R.:

Anorexie und Bulimie aus zahnärztlicher Sicht.
Urban und Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore 1994: S. 64-78.

Schröder, H.E.:

Orale Strukturbiologie.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York 1992

Schröder, H.E.:

Pathobiologie oraler Strukturen.
Karger 1997; 99-100.

Schweitzer, M.:

Schützt Speichel vor Erosionen? Eine in vitro Untersuchung zur Löslichkeit von menschlichem Zahnschmelz in zwei unterschiedlich charakterisierten diätetischen Säuren.
Med Diss Gießen, 1999.

Schweitzer- Hirt, C.M.; Schait, A.; Schmid, R.; Imfeld, T.; Lutz, F.; Mühlemann, H.R.:

Erosion und Abrasion des Schmelzes. Eine experimentelle Studie.
Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1978; 88: 497-529.

Shabat, E.; Anaise, J.; Wetreich, 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.

Simmons, M.S.; Thompson, D.C.:

Dental erosion secondary to ethanol-induced emesis.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1987; 64: 731-733.

Slomiany, B.L.; Murty, V.L.N.; Zdebska, E.; Slomiany, A.; Gwozdziński, K.; Mandel, I.D.:

Tooth surface-pellicle lipids and their role in the protection of dental enamel against lactic-acid diffusion in man.
Arch Oral Biol 1986; 31: 187-191.

Smith, B.N.G.:

Toothwear: aetiology and diagnosis.
Dent Update 1989; 16: 204-212.

Smith, B.G.N.; Knight, J.K.:

A comparison of patterns of tooth wear with aetiological factors.
Br Dent J 1984; 157: 16-19.

Smith, B.G.N.; Robb, N.D.:

Dental erosion in patients with chronic alcoholism.
J Dent 1989; 17: 219-221.

Sönju, T.; Rølla, G.:

Chemical analysis of the acquired pellicle formed in two hours on cleaned human teeth in vivo. Rate of formation and amino acid analysis.
Caries Res 1973, 7: 30-38.

Sognaes, R.F.; Wolcott, R.B.; Xhonga, F.A.:

Dental erosion. I. Erosion-like patterns occurring in association with other dental conditions.

J Am Dent Assoc 1972; 84: 571-576.

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.

J Dent Res 1988; 54: 426.

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.

Stafne, E.C.; Lovstedt, S.A.:

Dissolution of tooth substance by lemon juice, acid beverages and acids from some other sources.

J Am Dent Assoc 1947; 34: 586-592.

Stephan, R.M.:

Effects of different types of human foods on dental health in experimental animals.

J Dent Res 1966, 45: 1551-1561.

Stösser, L.; Nekrashevych, Y.:

Erosion of dental enamel in vitro and rehardening by saliva in vivo.

Caries Res 1998; 32: 310 (Abstr.).

Taylor, G.; Taylor, S.; Abrams, R.; Mueller, W.:

Dental erosion associated with asymptomatic gastroesophageal reflux.

ASDC J Dent Child 1992; 59: 182-185.

Ten Bruggen Cate, H.J.:

Dental erosion in industry.

Br J Ind Med 1968, 25: 249-266.

Tenovuo, J.; Rekola, M.:

Some effects of sugar-flavored acid beverages on the biochemistry of human whole saliva and dental plaque.

Acta Odontol Scand 1977; 35: 317-330.

Thomson, M.E.:

Effects of cheese breadcrumbs and a breadcrumb and cheese mixture on microhardness of bovine dental enamel in intraoral experiment.

Caries Res 1988; 22: 246-249.

Touyz, L.Z.G.:

Apples, acids and teeth.

S Afr J Sci 1980; 76: 200-201.

Touyz, L.Z.G.; Glassman, R.M.; Naidu, S.:

Erosive action of apple juice and orange juice on rats molars in vivo.

S Afr J Sci 1981; 77: 423-424.

Tuominen, M.L.; Tuominen, R.J.; Fubusa, F.; Mgalula, N.:

Tooth surface loss and exposure to organic and inorganic acid fumes in workplace air.

Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 217-220.

Tuominen, M.; Tuominen, R.; Ranta, K.; Ranta, H.:

Association between acid fumes in the work environment and dental erosion.

Scand J Work Environ Health 1989; 15: 335-338.

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: 329-33

Westerfeld, F.:

In vitro Untersuchung der Auswirkung verschiedener Faktoren beim Zähneputzen auf die Abradierbarkeit erodierter Schmelzoberflächen.

Med Diss, Gießen 2002.

Wiktorsson, A.M.; Zimmerman, M.; Angmar- Mansson, B.:

Erosive tooth wear: prevalence and severity in Swedish winetasters.

Eur J Oral Sci. 1997; 105: 544-550

Xhonga, F.A.; Valdmanis, S.:

Geographic comparisons of the incidence of dental erosion: a two centre study.

J Oral Rehabil 1983, 10: 269-277.

Zahradnik, R.T.; Propas, D.; Moreno, E.C.:

In vitro enamel demineralization by Streptococcus mutans in the presence of salivary pellicles.

J Dent Res 1977; 56: 1107-1110.

Zahradnik, R.T.; Propas, D.; Moreno, E.C.:

Effect of salivary pellicle formation time on in vitro attachment and demineralization by Streptococcus mutans.

J Dent Res 1978; 57: 1036-1042.

Zero D.T.:

Etiology of dental erosion - extrinsic factors.

Eur J Oral Sci 1996; 104: 162-177.

8 ANHANG

8.1 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Joachim Klimek, Leiter der Abteilung 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 Unterstützung und Betreuung bei der Durchführung der Studie sehr dankbar.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Frau Birgit Meier und Herrn Jens Belzer, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Medizinischen Zentrums der Justus-Liebig-Universität Giessen, für deren Unterstützung.

Weiterhin danke ich Katja Giese, meiner Mutter Beate Brune, Markus Poth und Björn Christoffer für deren zuverlässige und geduldige Mitarbeit als Probanden bei der in situ Studie. Besonderer Dank gilt hierbei Markus Poth für seine Hilfe bei der praktischen Durchführung der Studie.

Abschließend möchte ich auch meiner Familie danken, die mich immer unterstützt und ermutigt hat; besonderer Dank gilt dabei meinem Mann Peter Brune, der mir bei computertechnischen Fragen eine große Hilfe war.

8.2 Lebenslauf

| | | |
|----------------------|---|--|
| Name: | Valerie Brune | |
| Geburtsdatum: | 04.04.1975 | |
| Geburtsort: | Bochum | |
| Staatsangehörigkeit: | deutsch | |
| Eltern: | Rainer Brune, Sparkassendirektor Beate Brune, geb. Schicke | |
| Schulbildung: | 1981 - 1985 | Grundschule Pestalozzi in Gevelsberg |
| | 1985 - 1994 | Städtisches Gymnasium in Gevelsberg |
| | Mai 1994 | Allgemeine Hochschulreife |
| Berufsausbildung: | 1994 - 2000 | Studium der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-Universität in Gießen |
| | 1995 | Naturwissenschaftliche Vorprüfung |
| | 1997 | Zahnärztliche Vorprüfung |
| | 2000 | Zahnärztliche Prüfung |

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig , ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“