

Aus der Abteilung Präventive Zahnmedizin,  
Parodontologie und Kariologie  
(Komm. Direktor Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann)  
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Schutzwirkung eines hochkonzentrierten Fluoridgels  
gegen erosiven und erosiv-abrasiven Zahnschmelzverlust**

Eine In-vitro-Untersuchung an Rinderzahnschmelz

INAUGURAL – DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades  
für Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät  
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von  
Sabrina Kohnke  
aus  
Magdeburg

Göttingen 2010

**Dekan:** Prof. Dr. med. C. Frömmel

**1. Berichtstatter:** PD Dr. med. dent. W. Buchalla

**2. Berichtstatter/-in:** Prof. Dr. med. dent. Hülsmann

**3. Berichtstatter/-in:** -

**Tag der mündlichen Prüfung:** 30.11.2010

Die vorliegende Promotionsschrift war die Grundlage für folgende Veröffentlichung:

**Lagerweij MD, Buchalla W, Kohnke S, Becker K, Lennon ÁM, Attin T (2006):**

Prevention of Erosion and Abrasion by a High Fluoride Concentration Gel Applied at High Frequencies

Caries Res 40, 148-153

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Literaturübersicht .....	3
2.1	Zahnschmelz.....	3
2.2	Chemische Zusammensetzung des Zahnschmelzes .....	3
2.3	Aufbau und Zusammensetzung des bovinen Zahnschmelzes .....	4
2.4	Erosion .....	5
2.4.1	Definition .....	5
2.4.2	Ätiologie.....	5
2.4.3	Epidemiologie .....	6
2.5	Abrasion .....	7
2.5.1	Definition .....	7
2.5.2	Bürstabrasion in Zusammenhang mit erodiertem Zahnschmelz.....	7
2.5.3	Ätiologie.....	8
2.6	Remineralisierende Faktoren.....	8
2.6.1	Speichel.....	8
2.6.1.1	Produktion .....	8
2.6.1.2	Zusammensetzung.....	8
2.6.1.3	Auswirkung auf erodierten Zahnschmelz .....	9
2.6.2	Fluoride .....	9
3	Versuchsaufbau .....	12
4	Material und Methoden .....	14
4.1	Herstellung der Proben.....	14
4.2	Vorbereitung der Proben .....	14
4.3	Synthetischer Speichel .....	16
4.4	Gruppeneinteilung.....	17
4.5	Erosion .....	20
4.5.1	Künstlicher Mund.....	20
4.5.2	Erosive Lösung.....	23
4.6	Abrasion .....	23
4.6.1	Bürstapparat .....	23
4.6.2	Abrasionsmedium.....	24

## Inhaltsverzeichnis

4.7	Profilometrische Auswertung.....	24
4.8	Statistik.....	25
5	Ergebnisse .....	26
5.1	Bestimmung des Zahnschmelzverlustes.....	26
5.2	Statistische Auswertung .....	28
6	Diskussion .....	29
6.1	Diskussion der Methode.....	29
6.1.1	Schmelzproben .....	29
6.1.2	Remineralisation.....	29
6.1.3	Demineralisation .....	30
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	30
6.3	Schlussfolgerung .....	31
7	Zusammenfassung.....	32
8	Literaturverzeichnis.....	34
9	Anhang .....	45
9.1	Chemikalien .....	45
9.2	Verbrauchsmaterialien .....	45
9.3	Geräte .....	45

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Zusammensetzung des synthetischen Speichels auf 1000 ml aqua dest. ....	17
Tab. 2: Tageszyklus.....	18
Tab. 3: P-Werte .....	28

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Vorbereitung der Proben. ....	15
Abb. 2: Aufbau des profilometrischen Messvorgangs. ....	16
Abb. 3: Versuchsaufbau mit Verteiler und Pumpe. ....	20
Abb. 4: Superfusionskammern mit Proben. ....	21
Abb. 5: Schemadarstellung des künstlichen Mundes. ....	22
Abb. 6: Aufbau der Bürstapparatur. ....	23
Abb. 7: Profilometrische Ausgangs- und Abschlussmessung.....	25
Abb. 8: Darstellung der Grabentiefen der Schmelzoberflächen nach sieben Tagen.....	27
Abb. 9: Darstellung der Grabentiefen der Schmelzoberflächen nach 14 Tagen.....	27
Abb. 10: Mediane der Grabentiefe.....	28

# 1 Einleitung

Zahnhartsubstanzverluste können unterschiedlichster Genese sein. Zum einen können pathogene Mikroorganismen in Verbindung mit potentiell pathogenen ökologischen Faktoren Karies verursachen. Zum anderen können Zahnhartsubstanzverluste ohne die Beteiligung von Mikroorganismen durch physikalisch/chemische Einwirkungen auf den Zahnschmelz entstehen. Hierzu zählen die durch Säureeinwirkung verursachte Erosion sowie mechanisch bedingte Zahnhartsubstanzverluste. Die Abrasion wird durch den Kontakt mit einem anderen Medium hervorgerufen, Demastikation ist der Zahnabrieb durch Nahrungszerkleinerung, Attrition ist Hartsubstanzverlust durch direkten Zahnkontakt, bei der Abfraktion handelt es sich um lokale Schmelz- oder Dentinausbrüche und schließlich die Resorption, die ein biologischer Abbau von Zahnhartsubstanz durch ein Trauma, eine kieferorthopädische Behandlung oder Entzündung ist.

Durch vermehrte Säureeinwirkung in der Mundhöhle steigt das Risiko von Erosionsschäden. Exzessives Zähnebürsten der durch Säure vorgeschädigten Zähne kann zusätzlich den Zahnhartsubstanzverlust erhöhen. Zahnschmelzverlust infolge von Erosionen oder erhöhter Abrasion, bzw. Attrition von erosiv erweichtem Zahnschmelz kommt häufig auch bei Jugendlichen vor. (Dugmore, Rock, 2003). Mahoney und Kilpatrick zeigten 2003, dass 80 % der Kinder und 43 % der Erwachsenen betroffen sind und somit der nicht kariesbedingte Zahnschmelzverlust ein ernsthaftes Problem ist.

Der Konsum von erosiven Nahrungsmitteln ist heutzutage sehr verbreitet. Neben säurehaltigen Getränken, wie z.B. Fruchtsäfte, Limonaden, und einer säurehaltigen Ernährung in Form von Rohkost und vegetarischen Diäten führen auch Krankheiten, wie z.B. Essstörungen und Refluxerkrankungen zu einer erhöhten Beanspruchung der Zahnhartsubstanzen durch häufigen Kontakt mit Magensäure. In Fällen von Bulimie kann der pH-Wert in der Mundhöhle bis auf pH 4 absinken (Jensdottir et al., 2004).

Die Einnahme von sauren Medikamenten sowie eine beruflich bedingte Säureexposition spielen ebenfalls eine große Rolle in der Erosionsentstehung.

Es ist wissenschaftlich bewiesen, dass Fluorid die kariöse Demineralisation im Zahnschmelz hemmt und Remineralisation einer kariösen Läsion fördert. Bisher war es nicht bekannt, ob Fluorid auch in der Lage ist, den erosiven und erosiv-abrasiven Schmelzabtrag zu reduzieren. Ziel dieser Studie war es, den maximal erreichbaren Schutz des Zahnschmelzes nach Erosion und Erosion in Verbindung mit Abrasion mit Hilfe von hochkonzentriertem Fluoridgelee, bzw. fluoridierter Zahnpasta zu ermitteln.

---

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie sollen Empfehlungen zur Anwendung von hochkonzentrierten Fluoridgelen im Rahmen der Therapie von starken Erosionen in Verbindung mit Abrasion abgeleitet werden.



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Zahnschmelz

Der Zahnschmelz bedeckt die anatomische Zahnkrone mit einer Dicke von wenigen Mikrometern am Zahnhals bis hin zu 2,5 mm im Bereich der Höckerspitzen und Inzisalkanten.

Der Zahnschmelz ist mit einer Knoophärte von 250-390 KHN die härteste Substanz des menschlichen Körpers (Hellwig et al., 1999) und hat den höchsten Mineralisationsgehalt (Schroeder, 1992). Die Dichte des Zahnschmelzes nimmt von der Zahnoberfläche zur Schmelz-Dentingrenze hin ab und beträgt 2,86-3,01 mg/mm<sup>3</sup> (Weatherell et al., 1967). Die Ameloblasten bilden eine organische Schmelzmatrix, indem sie Matrixproteine ausscheiden. Diese Schmelzmatrix mineralisiert und reift später aus. Während der Schmelzreifung findet eine Kristallisation von Kalzium-Phosphat-Verbindungen statt. Kalzium und Phosphat werden ebenfalls von den Ameloblasten sezerniert. Anschließend findet eine Kalziumzufuhr in die Schmelzmatrix statt (Deporter, 1977). Nun werden die Matrixproteine resorbiert und durch Wasser ersetzt (Robinson et al., 1978). Entstandene Poren werden durch Wasser aufgefüllt. Durch das anschließende Kristallwachstum kommt es zum Verlust der Poren. Der so entstandene ausgereifte Zahnschmelz ist avaskulär und azellulär. Ein zellulärer Reparaturmechanismus ist somit nicht vorhanden.

### 2.2 Chemische Zusammensetzung des Zahnschmelzes

Der Hauptbestandteil des menschlichen Zahnschmelzes sind anorganische Verbindungen (93-98 Gew.-%), wie Kalzium, Phosphor sowie Magnesium, Natrium und Karbonat (Patel, Brown, 1975). Der anorganische Anteil besteht hauptsächlich aus Hydroxylapatit ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) (Arends, Jongebloed, 1978). Wenn OH-Gruppen teilweise durch Fluorid ersetzt werden, entsteht Fluorapatit ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ) oder Fluorhydroxylapatit ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2-x}\text{F}_x$ ) (Chow et al., 1980). Die charakteristischen Eigenschaften des Zahnschmelzes werden durch den Einbau von Fremdionen, wie z.B. Fluorid, Magnesium oder Karbonat in das Kristallgitter beeinflusst. Somit steigt oder sinkt die Stabilität und die Löslichkeit des Zahnschmelzes. Fluorapatit und Fluorhydroxylapatit besitzen eine chemisch stabilere Kristallgitterstruktur als Hydroxylapatit (Young, 1974).

Wasser ist mit ca. 1,5-4 Gew.-% der zweitgrößte Anteil. Ein großer Teil des Wassers ist als Hydratationsschale direkt proportional zum Kalzium-Phosphatgehalt an die Apatitkristallite angelagert. Nur ein kleiner Teil des Wassers ist lose an organische Substanzen gebunden (Little, Casciani, 1966; Dibdin, 1972). Dadurch, dass Zahnschmelz Wasser aufnehmen kann, kommt es durch die mit dem Flüssigkeitsstrom ein- oder austretenden Ionen zu chemischen Veränderungen (Schroeder, 1992).

Ein weiterer Bestandteil mit etwa 2 Gew.-% sind organische Verbindungen, wie lösliche und unlösliche Proteine mit ca. 58 %, Lipidanteile zu etwa 40 % und Spuren von Kohlenhydraten, Zitrat und Laktat (Nikiforuk, 1985).

### **2.3 Aufbau und Zusammensetzung des bovinen Zahnschmelzes**

Rinderzähne sind gut für experimentelle Studien geeignet, da sie im Gegensatz zu humanen Zähnen in großer Stückzahl zur Verfügung stehen, über mehr Schmelzsubstanz verfügen und einfacher zu standardisieren sind. Menschlicher Zahnschmelz ist vergleichbar mit bovinem Zahnschmelz in Bezug auf die chemische Zusammensetzung, die Dichte, die Wärmekapazität, die Vickershärte, sowie auf die Gesamtoberfläche. Wohingegen die Biegefestigkeit und die Bruchzähigkeit sich unterscheiden (Esser et al., 1998). Diese Studie von Esser et al. (1998) zeigte auch, dass die chemische Zusammensetzung der Zahnhartsubstanz des Rindes ähnlich der der humanen Zahnhartsubstanz war. Die Werte betragen für Kalzium 31,1 % (human 35,0 %), für Phosphat 15,5 % (human 16,8 %) und Magnesium 0,4 % (human 0,2 %). In einer weiteren Studie von Duschner et al. (1984) wurde nachgewiesen, dass der Fluoridgehalt des Rinderzahnschmelzes zwischen 60 ppm F und 490 ppm F liegt. Zudem besitzt boviner Zahnschmelz größere Kristalle und ist geringfügig weicher als menschlicher Zahnschmelz (Arends et al., 1979). In diesem Zusammenhang zeigte die Studie von Featherstone und Mellberg (1981), dass Läsionen in bovinem Zahnschmelz dreimal so schnell fortschreiten als in humanem Zahnschmelz. Dementsprechend sind Erosionen im Rinderzahnschmelz deutlich ausgeprägter als in humanem Zahnschmelz (Meurmann et al., 1990). Ein Vergleich der beiden Zahnhartsubstanzen ist jedoch zulässig, da jeder Zahnschmelz individuelle Unterschiede aufweist. Durch Planschleifen und Oberflächenpolitur der Proben wird die Oberflächenschicht mit den größeren Kristallen und dem höheren Fluorid- und Karbonatgehalt abgetragen. So erhält man nach der Politur eine homogene Oberfläche mit homogener Mineralienzusammensetzung (Arends et al., 1983). Meurman und Frank (1991)

zeigten, dass die Erosion sowohl in humanem als auch in bovinem Zahnschmelz schneller voranschreitet, wenn die Schmelzoberfläche poliert ist.

## **2.4 Erosion**

### **2.4.1 Definition**

Dentale Erosionen beschreiben das klinische Ergebnis des Zahnhartsubstanzverlustes nach chemischer Anlösung der Zahnoberfläche durch Säuren ohne Beteiligung oraler Mikroorganismen (ten Cate, Imfeld, 1996). Der kritische pH-Wert für Erosionen liegt bei 4 bis 4,5 (Schmidt et al., 2003). Das Frühstadium betrifft ausschließlich den Zahnschmelz und erscheint stumpf und glanzlos (Ganss, 2006). Diese Frühläsionen sind klinisch schwer zu diagnostizieren. Das Spätstadium betrifft zusätzlich das Dentin, welches bräunlich verfärbt sein kann. Zudem flachen Höcker ab. Mit zunehmender Säureexposition entstehen schüsselförmige Einziehungen auf okklusalen bzw. inzisalen Zahnflächen (Ganss, 2006).

Eccles (1979) hat die Schmelzerosionen klinisch in drei Stadien eingeteilt. Die Klasse I beschreibt eine oberflächliche Läsion im Zahnschmelz. Bei der Klasse II handelt es sich um lokalisierte Läsionen, bei denen Dentin bis zu einem Drittel der betroffenen Fläche freiliegt. Bei der Klasse III spricht man von generalisierten Läsionen, bei denen die Dentinbeteiligung mehr als ein Drittel der gesamten Läsionsoberfläche beträgt.

### **2.4.2 Ätiologie**

Erosionen entstehen durch häufige direkte Säureeinwirkung (Addy, Shellis, 2006). Anhand der Lokalisation der Erosionen am Zahn können verschiedene Ursachen abgeleitet werden (Eccles, Jenkins, 1974; Schweizer-Hirt et al., 1978). So deuten palatinale Erosionen auf eine endogene Ätiologie durch Magensäure hin (intrinsische Ursachen). Labiale Erosionen sind eher exogen diätisch bedingt (extrinsische Ursachen) (Järvinen et al., 1991, 1992; Valena, Young, 2002).

Im Anfangsstadium sind Erosionen schmerzfrei, nach Abtrag des Schmelzes innerhalb der erosiven Läsionen kann es zu Hypersensibilitäten kommen.

Zu den intrinsischen Faktoren zählen gastro-oesophageale Refluxerkrankungen (Bartlett et al., 1996; Munoz et al., 2003; Scheutzel, 1996), sowie häufiges Erbrechen im Rahmen psychischer Erkrankungen wie Anorexia nervosa, Bulimia nervosa (Paszynska et al., 2006)

oder stress-induziertes psychosomatisches Erbrechen (Mahoney, Kilpatrick, 2003; Scheutzel, 1996; Milosevic, Jones, 1996) sowie Erbrechen durch chronischen Alkoholmissbrauch.

Bei den extrinsischen Faktoren handelt es sich um säurehaltige Ernährung (Lussi et al., 2004; Ganss et al., 1999; Lussi et al., 1991; ten Cate, Imfeld, 1996), vor allem spezielle Diäten (Zero, 1996), saure Medikamenteneinnahme (Mahoney, Kilpatrick, 2003; Zero, 1996) sowie das Einatmen saurer Industrieabgase (Amin et al., 2001; Petersen, Gormsen, 1991).

### 2.4.3 Epidemiologie

Die Prävalenz von dentalen Erosionen bei Kindern variiert zwischen 2-57 %. Die erosiven Veränderungen reichen von oberflächlichem Schmelzabtrag bis hin zum ausgedehnten Zahnhartsubstanzverlust mit Pulpenfreilegung (Linnett, Seow, 2001).

Lussi et al. (1991) führten eine epidemiologische Studie mit 391 schweizerischen Erwachsenen durch. Bei 7,7 % der jüngeren Untersuchungsgruppe (26-30 Jahre alt) und bei 13,2 % der älteren Untersuchungsgruppe (46-50 Jahre alt) wies mindestens ein Zahn eine vestibuläre Erosion mit Dentinbeteiligung auf. Okklusale Erosionen traten sogar zu 29,9 % bei der jüngeren Untersuchungsgruppe und zu 42,6 % bei den älteren Testpersonen auf. Ebenfalls in einer epidemiologischen Studie zeigten Wiegand et al. (2006), dass 32 % von 463 untersuchten Kindergartenkindern Erosionen aufwiesen. Mit steigendem Alter der Kinder erhöhte sich auch die Zahl der Erosionen. Bei 13,2 % wurden mindestens an einem Zahn Erosionen mit Dentinbeteiligung festgestellt. Die oberen Milchschnidezähne waren mit 15,5-25 % die am häufigsten betroffenen Zähne, gefolgt von den oberen Milcheckzähnen mit 10,5-12 % und den oberen Milchmolaren mit 1-5 %. Von den Unterkiefer-Milchzähnen waren die Schnidezähne mit 1,5-3 % betroffen, die Eckzähne mit 5,5-6 % und die Molaren mit 3,5-5 %.

Zu 75,9 % waren die Erosionen an den ersten und zweiten Milchmolaren auf den okklusalen Flächen lokalisiert. An den Milchfront- und Milcheckzähnen traten die Erosionen am häufigsten an den inzisalen Flächen mit 51,2 % auf oder betrafen zu 28,9 % mehrere Zahnoberflächen.

Munoz et al. (2003) untersuchten 253 Patienten in einem Zeitraum von zwei Jahren. 181 Patienten davon litten an gastro-oesophagealem Reflux, die restlichen 72 Personen waren gesund. Verglichen mit der gesunden Patientengruppe (12,5 %) war der Prozentsatz der dentalen Erosionen in der Patientengruppe mit Refluxerkrankung signifikant höher (47,5 %). Die Erosion kann durch verschiedene Formen der Abrasion verstärkt werden.

## **2.5 Abrasion**

### **2.5.1 Definition**

Bei der Abrasion handelt es sich um Zahnhartsubstanzverlust, verursacht durch Fremdkörperabrieb (Addy, Shellis, 2006). Die Läsionen sind meist konkav und haben eine glatte Oberfläche (Gallien et al., 1994). Der Abrieb kann durch abrasive Nahrung erfolgen. Dieser je nach Ausprägung physiologische Vorgang wird als Demastikation bezeichnet (Imfeld, 1996). Hierbei handelt es sich um okklusale bzw. inzisale Defekte. Im Zahnhalsbereich entstehen Defekte durch Abrasion aufgrund von Mundhygienemaßnahmen. Dazu zählen stark abrasive Zahnpasten, zu harte Zahnbürsten sowie exzessive Mundhygiene, verbunden mit falscher Putztechnik. Auch der Bruxismus kann zu starken Abrasionen führen (Grippo, 1991).

### **2.5.2 Bürstabrasion in Zusammenhang mit erodiertem Zahnschmelz**

Bei der Bürstabrasion handelt es sich um einen Zahnhartsubstanzverlust verursacht durch das Bürsten der Zähne. Hierbei ist die Abrasivität der verwendeten Pasten hauptursächlich, denn der Zahnhartsubstanzabtrag ist beim Bürsten mit Wasser deutlich geringer (Hotz, 1983). Durch die Abrasivstoffe in den Zahnpasten wird ein größerer Reinigungseffekt an der Zahnoberfläche erzielt. Die Reinigungswirkung wird größer, je abrasiver die Zahnpaste ist (Baxter et al., 1981). Sognaes (1963) beschreibt drei aufeinanderfolgende Schritte als Ursache von erosiv-abrasivem Zahnhartsubstanzverlust: Erstens, dass das schützende Speichelpellicle auf der Zahnoberfläche fehlt. Zweitens der Mineralverlust an der Oberfläche durch das Einwirken einer sauren Noxe. Drittens der Abtrag der erosiv erweichten oberflächlichen Zahnschicht durch biophysikalische und biomechanische Einflüsse oder Reibung durch Lippen, Zunge, Wangen, Nahrung und Zahnbürste. Eine erosiv vorgeschädigte Zahnoberfläche reagiert anfälliger auf abrasive Kräfte als eine gesunde Oberfläche (Attin et al., 1997). Die Bürstabrasion ist dabei besonders zu benennen. Die Härte der oberflächlichen Schmelzschicht nimmt mit zunehmender Dauer der Säureeinwirkung ab. Die Studie von Davis und Winter (1980) zeigte, dass eine solche Säureeinwirkung von 45 s eine erweichte Schicht von 0,1-0,2 µm Stärke hervorrufen kann. Infolgedessen kommt es zu einer überproportionalen Zunahme des Bürstabtrages (Attin et al., 1997). Die Zahnoberfläche wird durch die Kombination von Erosion und Abrasion stärker geschädigt als durch das alleinige Auftreten beider Ereignisse. Der enorme Bürstabtrag erodierten Zahnschmelzes lässt sich

durch die Verwendung einer fluoridierten Zahnpasta reduzieren (Bartlett et al., 1994). Attin et al. (1999) konnten in ihren Studien nachweisen, dass Zahnschmelz und Dentin durch den Einsatz hochkonzentrierter saurer Fluoridgele resistenter gegenüber Abrasion werden.

### **2.5.3 Ätiologie**

Sowohl klinische als auch experimentelle Beobachtungen zeigen, dass einzelne Abtragungsmechanismen selten allein wirken, sondern häufig mit mehreren interagieren. Am wichtigsten ist hierbei die Steigerung der Abrasion bei einem erosiven Zahnhartsubstanzschaden (Ganss, 2006; Addy, Shellis, 2006). Diese Interaktion scheint der entscheidende Faktor beim okklusalen und zervikalen Zahnabtrag zu sein. Speichel kann den erosiven bzw. abrasiven Zahnhartsubstanzabtrag durch Pellikel-Bildung und Remineralisation beeinflussen, ihn jedoch nicht verhindern (Addy, Shellis, 2006; Jaeggi, Lussi, 1999; Barbour, Rees, 2006).

## **2.6 Remineralisierende Faktoren**

### **2.6.1 Speichel**

#### 2.6.1.1 Produktion

Täglich werden ca. 0,5-1 Liter Speichel gebildet. Der Hauptanteil wird von den paarigen Submandibular- und Parotisdrüsen sezerniert, der restliche Speichel wird von den Drüsen der Mundschleimhaut sowie von den ebenfalls paarig angelegten Sublingualdrüsen produziert. Die Speichelproduktion wird reflektorisch durch Reize, wie Gerüche, Geschmack, Berührung der Mundschleimhaut und Kauen gesteuert. Die Sekretionsrate variiert je nach Stimulation. Der Ruhespeichel beträgt 0,25 ml/min und der stimulierte Speichel beträgt 3 ml/min (Hellwig et al., 1999).

#### 2.6.1.2 Zusammensetzung

Der Hauptbestandteil des Speichels ist Wasser mit 99 %. Der Rest des Speichels setzt sich aus organischen und anorganischen Substanzen zusammen, deren Konzentration stark schwankt. Proteine, Enzyme, Glycoproteine (Muzine) und Immunglobuline zählen zu den organischen Substanzen. Die wichtigsten anorganischen Substanzen sind Kalzium, Phosphat, Hydrogenkarbonat, Magnesium, Kalium, Natrium, Chlorid, und Fluorid (Hellwig et al., 1999).

### 2.6.1.3 Auswirkung auf erodierten Zahnschmelz

Speichel ist für die Remineralisation der Zähne nach einem Säureangriff von großer Bedeutung, da er eine natürliche Quelle von Kalzium und Phosphat darstellt. Attin et al. (1999) zeigten mit ihren Studien, dass auch künstlicher Speichel, welcher oft in verschiedenen In-vitro-Studien als Remineralisationslösung eingesetzt wurde, ebenfalls zu einem Wiedererhärten von erweichtem Zahnschmelz führt.

Der Speichel besitzt drei wichtige Puffersysteme, den Bikarbonat-, den Phosphat- und Proteinpuffer. Diese Speichelpuffer beeinflussen die Säureeinwirkung am Zahnschmelz. Die Pufferkapazität steigt mit der Menge an stimuliertem Speichel. Somit können Patienten mit einer hohen Speichelfließrate Säuren im Mund nicht nur schneller verdünnen, sondern auch eine höhere Pufferkapazität aufbringen und damit einem Säureangriff schneller neutralisierend entgegenwirken. Besonders der im Gegensatz zum Phosphatpuffer viel wirksamere Bikarbonatpuffer erreicht bei Stimulation eine 50-fach höhere Ausschüttungsrate (Schweizer-Hirt et al., 1978). Durch Stimulation verändern sich neben der Menge auch die Zusammensetzung sowie die Eigenschaften des Speichels. So beträgt der pH-Wert des Speichels in Ruhe ca. pH 6,5 und bei Stimulation steigt der Wert auf pH 7,5 an. Es besteht zwischen Zahnschmelz und Speichel ein Lösungsgleichgewicht. Bei einem pH-Wert von ca. pH 5,5 liegt eine Sättigung des Speichels mit Hydroxylapatit vor. Es kommt zur Auflösung von Hydroxylapatit und somit zur Demineralisation, sobald ein saures Milieu am Zahn entsteht. Bei einem anschließenden Anstieg des pH-Wertes kann der Speichel durch seine Übersättigung an Kalzium- und Phosphationen demineralisierte Bereiche der Zahnhartsubstanz wieder remineralisieren. Somit besteht ein ständiger Wechsel zwischen De- und Remineralisation der Zahnhartsubstanz.

### 2.6.2 Fluoride

Fluoride treten intraoral durch unterschiedliche Reaktionsweisen mit dem Zahnschmelz in unterschiedlichster Form auf. So bildet sich durch Präzipitation ein kalziumfluoridhaltiger Niederschlag auf der Schmelzoberfläche, nachdem die Schmelzminerale an der Schmelzoberfläche aufgelöst wurden. Bei einer anschließenden Auflösung dieses Niederschlags diffundieren die freiwerdenden Fluoridionen in den Zahnschmelz, in den Speichel oder binden sich an Kristalle. Somit können Fluoride auch teilweise fest in die Apatitstruktur eingebaut sein. Dabei können Fluoridionen nach Diffusion in den Zahnschmelz an freie Bindungsstellen im Kristallgitter binden (Ingram, Silverstone, 1981). Diese freien

Bindungsstellen entstehen aufgrund von Unregelmäßigkeiten während der Schmelzmineralisation. Fluoridionen können aber auch durch Substitutionsreaktion anstelle von  $\text{OH}^-$ -Gruppen eingebaut werden. Dies führt zu einer Verbesserung der Kristallinität. Durch den Einbau der Fluoridionen kommt es zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen und hiermit zu einer Stabilisierung der Apatitstruktur (Murray et al., 1977). Ein weiterer Reaktionsmechanismus der Fluoride ist das initiale Auflösen des Zahnschmelzes und das durch die anschließende Präzipitation entstehende Fluorapatit oder fluoridierte Hydroxylapatit. Als Hauptreaktionsprodukt nach lokaler Fluoridierung entsteht ein relativ stabiles kalziumfluoridähnliches Präzipitat auf der Schmelzschicht (Duschner et al., 1984). Diese Kalziumfluoridschicht dient als Depot, aus dem Fluoridionen abgegeben werden können. Bei einem pH-Wert Abfall kommt es zur Freisetzung der Fluoridionen und zu den oben beschriebenen Prozessen. Fluoride sind somit in der Lage, die Remineralisation des Zahnschmelzes zu fördern und die Demineralisation zu hemmen (Lynch et al., 2004). Dabei schützen höher konzentrierte Fluoridpräparate in Form von Fluoridgele mehr als weniger konzentrierte Fluoridpräparate, z.B. Zahnpasten (Lagerweij, ten Cate, 2002; Wiegand et al., 2005; Ganss et al., 2007). Fluoride führen bei gesundem Zahnschmelz nur in höheren Konzentrationen (über 50 ppm F) oder in Verbindung mit sauren pH-Werten zu einer messbaren Fluorideinlagerung in den Schmelz (Fejerskov et al., 1994). Auch der Gebrauch von fluoridierten Zahnpasten, die die Fluoridkonzentration im Speichel kurzfristig auf mehrere hundert ppm F anheben, indiziert kaum eine Fluoridaufnahme in die Apatitstruktur des Zahnschmelzes (Bruun et al., 1982). Diese Tatsache erklärten Dijkman et al. (1982) mit der schlechten Haftung des Kalziumfluorids, welches sich als Präzipitat bei Fluoridapplikation auf der Zahnhartsubstanz niederschlägt. Somit bleibt dieses Präzipitat nur kurzzeitig auf glattem, intaktem Zahnschmelz bestehen. Um dennoch eine geringe Fluoriddiffusion im intakten Zahnschmelz zu erreichen, können lang haftende Fluoridlacke verwendet werden, die eine sehr hohe Fluoridkonzentration direkt an der Zahnhartsubstanz über einen längeren Zeitraum gewährleisten (Seppä et al., 1982). Aufgrund des niedrigen pH-Wertes in vielen Fluoridgele ist die Fluoridaufnahme des Schmelzes gesteigert. Somit erreichen diese sauren Fluoridgele eine höhere Widerstandsfähigkeit als Gele, die pH-neutral sind (Attin et al., 1999; Brighenti et al., 2006). Der pH-Wert muss leicht sauer sein, um zuverlässig eine gezielte positive Wirkung auf die Remineralisation des Zahnschmelzes zu erzielen (Arnold et al., 2007). Die optimale Wirkung wird durch eine Kontaktzeit von einigen Minuten erzielt. Üblicherweise sind 0,1 bis 0,15 % Fluorid in Zahnpasten enthalten. Die gebräuchlichsten Fluoridverbindungen in lokalen Fluoridierungsmitteln sind Natriumfluorid, Natriummonofluorophosphat, Aminfluorid und Zinnfluorid. Arnold et al. (2006) zeigten in



ihrer Studie, dass Aminfluorid enthaltende Zahnpasten eine deutlich höhere Remineralisation von Schmelzläsionen zur Folge hatten als Zahnpasten mit Natriumfluorid oder Natriummonofluorophosphat.

Fluoridgele enthalten meistens mindestens 1 % Fluorid und gehören somit zu den hochkonzentrierten Fluoridpräparaten. Die Anwendung kann sowohl häuslich als auch professionell in der zahnärztlichen Praxis erfolgen. Eine intensive Fluoridierung schützt die Zahnhartsubstanz vor Mineralverlust, sogar unter schweren erosiven Bedingungen (Ganss et al., 2004).

### 3 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden 36 Rinderzähne verwendet. Die Rinderzahnkronen wurden in Autopolymerisat (Palavit® G, Heraeus-Kulzer, Hanau, Deutschland) eingebettet, wobei die Labialflächen von Kunststoff unbedeckt blieben. Somit enthielt jede Probe eine Rinderzahnkrone. Zunächst wurden die Schmelzoberflächen poliert und anschließend mit der Unterseite der Proben parallelisiert. Die polierten Schmelzoberflächen wurden mit Tesafilmstreifen (Tesa®, Beiersdorf, Hamburg, Deutschland) unterschiedlich abgeklebt, so dass ein dreigeteiltes zentrales Fenster entstand. Die jeweils freien Flächen wurden entweder der Erosion durch Zitronensäure, der Bürstabrasion oder einer Kombination aus beiden ausgesetzt. Die 36 Proben wurden auf vier Versuchsgruppen zu je neun Proben aufgeteilt.

Bei der **Gruppe T0** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches (120 s) mit einer speziell hergestellten Zahnpasta (Elmex®, ohne Fluorid, GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz) statt. Bei der **Gruppe TF** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpasta (1250 ppm F, Elmex®, GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz) statt. Bei der **Gruppe 2F** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpasta (1250 ppm F, Elmex®, GABA GmbH) statt und zusätzlich zweimal täglich eine Applikation eines sauren Fluoridgels (12500 ppm F, Elmex® gelée, GABA GmbH), ebenfalls für 120 s. Bei der **Gruppe 8F** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpasta (1250 ppm F, Elmex®, GABA GmbH) und zusätzlich achtmal täglich eine Applikation eines sauren Fluoridgels (12500 ppm F, Elmex® gelée, GABA GmbH) statt. Alle 36 Proben durchliefen den gleichen täglichen Zyklus, welcher 14 Tage lang wiederholt wurde. Dabei wurden die Proben morgens und abends mit einem gruppenspezifischen Zahnpasta-Speichel-Gemisch behandelt und ein Abschnitt jeder Probe einer Bürstabrasion unterzogen. Die Proben der Gruppen 2F und 8F wurden zusätzlich mit Fluoridgel behandelt. Nach der morgendlichen Behandlung folgten De- und Remineralisationszyklen im künstlichen Mund. Dabei begann der tägliche Zyklus mit einer einstündigen Remineralisation mittels synthetischen Speichels. Im Anschluss daran wurde die erste Erosion mit 1%iger Zitronensäure, pH 2,3, 30 s lang durchgeführt. Im Abstand von zwei Stunden folgten fünf weitere Erosionen. Zwischen den Erosionen fand jeweils eine Remineralisation durch den computergesteuerten permanenten synthetischen Speichelfluss statt. Der Versuchsablauf wurde mit der abendlichen Behandlung beendet. Von jeder Probe wurde vor Beginn der Versuche, während der Versuche nach sieben

---

Tagen und nach 14 Tagen die Oberfläche profilometrisch vermessen und so der Abtrag des Zahnschmelzes bestimmt. Dafür wurden pro Probe zehn Messungen durchgeführt.

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Herstellung der Proben**

Für die Herstellung der Proben wurden Rinderzähne aus der Unterkieferfront verwendet. Nach der Extraktion wurden die Zähne in 0,1%iger Thymollösung zwischengelagert. Während der Studie wurden die Proben in Leitungswasser aufbewahrt. Die Zahnoberflächen wurden vorsichtig gereinigt. Die Rinderzähne wurden nach Abtrennung der Wurzel und Entfernung des Pulpagewebes in Autopolymerisat (Palavit® G, Heraeus-Kulzer, Hanau, Deutschland) eingebettet. Dabei lag die Zahnkrone mit der Labialfläche nach unten in der aus Silikon (President, Coltène, Altstätten, Schweiz) bestehenden Einbettform. Der Innendurchmesser der Einbettformen und somit der Durchmesser der Proben betrug 24,5 mm. Das Autopolymerisat (Palavit® G, Heraeus-Kulzer, Hanau, Deutschland) wurde nach Herstellerangaben angemischt und in die Einbettform gegossen, bis die linguale Fläche der jeweiligen Zahnkrone gerade bedeckt war. An der jeweiligen Labialfläche der Rinderzahnkrone, die die Vorderseite der Probe darstellt, wurde der Zahnschmelz angeschliffen. Dieser Schmelzanschliff erfolgte mithilfe einer Schleifmaschine (Struers GmbH, Willich, Deutschland) unter Wasserkühlung, mit Schleifpapier abnehmender Körnung (FEPA P 200, P 1200, P 2500). Anschließend wurde die linguale Fläche, welche die Rückseite der späteren Probe darstellt, ebenfalls mit der Schleifmaschine (Struers GmbH, Willich, Deutschland) planparallel geschliffen. Die Proben wurden nun mit der Labialfläche des Rinderzahnes nach unten in einen Stahlring (Innendurchmesser 24,5 mm, Höhe 8 mm) gelegt. Wieder wurde Autopolymerisat (Palavit® G, Heraeus-Kulzer, Hanau, Deutschland) nach Herstellerangaben angemischt und die Form bis zum Rand aufgefüllt. Im direkten Anschluss, solange der Kunststoff noch weich war, wurde der Stahlring in einer Parallelpresse gepresst. Nach Aushärten des Autopolymerisates wurden noch die Pressfahne sowie die scharfen Kanten mit Hilfe einer Kunststofffräse entfernt. Nach der Parallelisierung in der Parallelpresse wurden die Proben mit dem Schleifpapier der Körnung FEPA P 4000 per Hand poliert, wobei die Parallelität gewahrt wurde. Daraus resultierte ein Schmelzabtrag von ca. 200 µm. Abschließend wurden die Proben nummeriert.

### **4.2 Vorbereitung der Proben**

Zur stratifizierten Randomisierung wurde von jeder Probe die Mikrohärtigkeit (Knoop) ermittelt. Es wurden fünf Messungen pro Probe mittels eines Mikrohärtetemessgerätes (Miniload, Zeiss,

Göttingen, Deutschland) außerhalb der später zu behandelnden Schmelzoberflächen durchgeführt. Somit konnte eine Beeinträchtigung der profilometrischen Auswertung im Referenzbereich durch die Stempelimpressionen für die Mikrohärtemessung verhindert

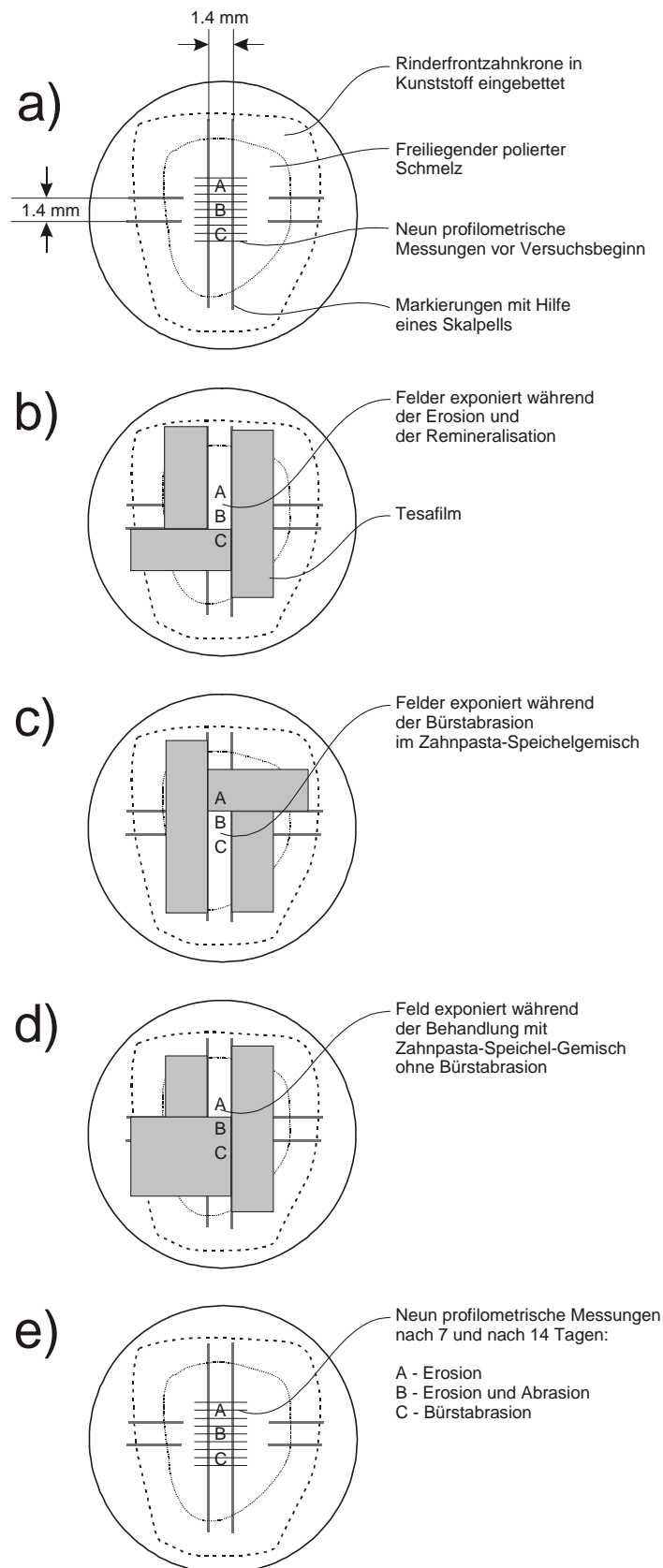
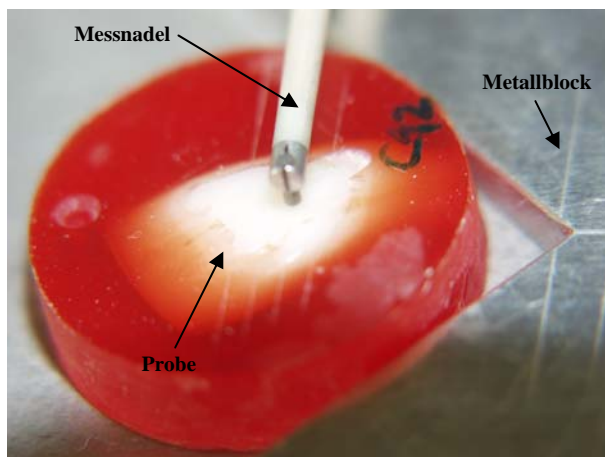


Abb. 1: Vorbereitung der Proben.

werden. Die Messungen erfolgten jeweils für 30 s, mit einem Gewicht von 1,9 N. Somit wurden die Proben in vier Gruppen (n = neun) stratifiziert-randomisiert und dadurch eine Homogenität der vier Gruppen gewährleistet.

Anschließend wurden die Schmelzoberflächen aller Proben mit einem Profilometer (Perthometer PRK, Perthometer Concept 6.01, Mahr GmbH, Göttingen, Deutschland) vermessen. Hierfür wurde ein Feld von 1,4 mm x 4,2 mm zentral auf der jeweiligen polierten Schmelzoberfläche mit einem Skalpell, mithilfe einer Schablone aus Messing, markiert (Abb. 1). Dieses Feld wurde dann nochmals in drei Quadrate von jeweils 1,4 mm x 1,4 mm Fläche aufgeteilt. Die Markierungen hierfür wurden nur links und rechts von dem markierten Feld eingeritzt, sodass die polierten Zahnoberflächen innerhalb der Seitenmarkierung intakt blieben. Das oberste Feld diente der Messung der Erosion. Im mittleren Feld wurden Erosion und Abrasion durchgeführt und gemessen.

Das unterste Feld wurde ausschließlich der Abrasion ausgesetzt. (Abb. 1). Zusätzlich wurde die jeweilige Ausgangsposition der Messnadel für die anschließenden Messungen mit dem Profilometer (Perthometer PRK, Perthometer Concept 6.01, Mahr GmbH, Göttingen, Deutschland) markiert. Nun wurde an der Probenunterseite noch eine Bohrung in Verlängerung des markierten Feldes gesetzt. Diese Bohrung diente der stets gleichen Fixierung der Proben auf einem Metallblock mit einem zur Bohrung passenden Stift im Profilometer (Perthometer PRK, Perthometer Concept 6.01, Mahr GmbH, Göttingen, Deutschland) während der Messungen (Abb. 2).



**Abb. 2:** Aufbau des profilometrischen Messvorgangs.

### 4.3 Synthetischer Speichel

Der synthetische Speichel diente sowohl als Remineralisationslösung im künstlichen Mund als auch zur Herstellung des Abrasionsmediums, einem Gemisch aus Zahnpasta und synthetischem Speichel. Der synthetische Speichel wurde nach einer Rezeptur von Klimek et al. (1982), ohne Muzin hergestellt. Die Zusammensetzung des synthetischen Speichels ist wie folgt dargestellt:

Tab. 1: Zusammensetzung des synthetischen Speichels auf 1000 ml aqua dest.

Bestandteile	Menge in g	Chargennummer
Ascorbinsäure <sup>a</sup>	0,002	PZN: 170 0159
Glukose <sup>b</sup>	0,03	15760537
NaCl <sup>b</sup>	0,58	21358903
CaCl <sub>2</sub> <sup>c</sup>	0,17	06357694
NH <sub>4</sub> Cl <sup>c</sup>	0,16	01143721
KCl <sup>b</sup>	1,27	02356380
NaSCN <sup>d</sup>	0,16	EC No 2087544
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>b</sup>	0,33	29359270
Harnstoff <sup>c</sup>	0,2	49047441
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> <sup>c</sup>	0,34	36360287
Phosphat-Puffer (Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> / KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	ad pH 6,4	

<sup>a</sup> Caesar & Loretz GmbH, Hilden, Deutschland

<sup>b</sup> Merck, Darmstadt, Deutschland

<sup>c</sup> Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland

<sup>d</sup> Fluka Chemika, Buchs, Schweiz

#### 4.4 Gruppeneinteilung

Die Proben wurden jeweils gruppenspezifisch wie folgt behandelt:

Bei den Proben der **Gruppe T0** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpaste-Speichel-Gemisches (120 s) mit einer speziell hergestellten Zahnpaste (Elmex<sup>®</sup>, ohne Fluorid, GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz) statt. Bei den Proben der **Gruppe TF** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpaste-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpaste (1250 ppm F, Elmex<sup>®</sup>, GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz) statt. Bei der **Gruppe 2F** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpaste-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpaste (1250 ppm F, Elmex<sup>®</sup>, GABA GmbH) statt und zusätzlich zweimal täglich eine Applikation eines sauren Fluoridgels (12500 ppm F, Elmex<sup>®</sup> gelée, GABA GmbH), ebenfalls für 120 s, jeweils nach der Behandlung am Morgen und am Abend und nach jeder Erosion. Bei der **Gruppe 8F** fand zweimal täglich eine Applikation eines Zahnpaste-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpaste (1250 ppm F, Elmex<sup>®</sup>, GABA GmbH) und zusätzlich achtmal täglich eine Applikation eines sauren Fluoridgels (12500 ppm F, Elmex<sup>®</sup> gelée, GABA GmbH) statt. Die

Fluoridgelapplikation erfolgte jeweils nach der Behandlung am Morgen und am Abend und nach jeder Erosion.

Alle Gruppen wurden dem gleichen, täglich wiederholten Zyklus aus Behandlung, Erosion, Abrasion oder einer Kombination aus Erosion und Abrasion unterzogen. Unterschieden haben sich die Gruppen in der Behandlung und der Fluoridapplikation. Während eines 14-tägigen circadianen pH-Zyklus wurden alle Gruppen mit künstlichem Speichel behandelt. Dabei fand sechsmal täglich alle zwei Stunden für 30 s eine Erosion mit 1%iger Zitronensäure statt. Im Anschluss an den täglichen Erosions-Zyklus fand eine 12-stündige Remineralisationsphase mit künstlichem Speichel statt. Alle Proben wurden morgens und abends jeweils 120 s einer Behandlung mit einem Zahnpasta-Speichel-Gemisch, der Gruppe entsprechend fluoridiert oder nicht fluoridiert in Verbindung mit oder ohne Bürstabrasion von 15 s unterzogen.

**Tab. 2:** Tageszyklus

8.00	Behandlung morgens mit gruppenspezifischem Zahnpasta-Speichel-Gemisch Bürstabrasion
9.00	Erosion 1
11.00	Erosion 2
13.00	Erosion 3
15.00	Erosion 4
17.00	Erosion 5
19.00	Erosion 6
20.00	Behandlung abends mit gruppenspezifischem Zahnpasta-Speichel-Gemisch Bürstabrasion

### **Gruppe 8F (achtmal Fluoridierung pro Tag)**

Die Proben wurden zu Beginn des Tageszyklus einer Behandlung unterzogen. Dafür wurden auf die Felder für die spätere Erosion sowie entlang der Seitenmarkierungen vorsichtig Tesafilmstreifen (Tesa<sup>®</sup>, Beiersdorf, Hamburg, Deutschland) auf die polierte Zahnoberfläche geklebt, um sie vor der Bürstabrasion zu schützen. Nun wurden die Proben 120 s in ein Gemisch aus fluoridierter Zahnpasta und künstlichem Speichel (Mischungsverhältnis 1:3) gelegt und in diesem Zeitraum 15 s mit einer Kraft von 2,5 N gebürstet. Anschließend wurden die Proben mit reichlich künstlichem Speichel abgespült, mit Pressluft 1 s lang getrocknet und der Tesafilm vorsichtig entfernt. Nun wurde das Fluoridgel für ebenfalls 120 s appliziert und anschließend mit künstlichem Speichel abgespült. Die Zahnoberflächen wurden sorgfältig mit



Zellstofftüchern getrocknet. Im Anschluss daran wurden Tesafilmstreifen auf die Felder der Bürstabrasion sowie entlang der Seitenmarkierungen geklebt. Die Proben wurden nun in die 12 Kammern des künstlichen Mundes gelegt. Eine genaue Beschreibung des künstlichen Mundes erfolgt in Kap. 4.5.1. Diese Apparatur ermöglichte einen gleichmäßigen Durchfluss des künstlichen Speichels sowie eine regelmäßige Erosion. Nach einer Vorlaufzeit von 1 h wurde die erste Erosion mit 1%iger Zitronensäure, mit einem pH-Wert von 2,3 30 s lang durchgeführt. Es folgten fünf weitere Erosionen im Abstand von zwei Stunden. Eine Stunde nach jeder Erosion fand eine zusätzliche Applikation mit Fluoridgel (12500 ppm F, Elmex<sup>®</sup> gelée, GABA GmbH) für 120 s statt. Dazu wurden die Proben aus dem künstlichen Mund genommen, mit Pressluft 1 s getrocknet und anschließend die Tesafilmstreifen entfernt. Nach der Fluoridgelapplikation wurden die Proben mit künstlichem Speichel gespült, wieder mit Pressluft und anschließend vorsichtig mit Zellstofftüchern getrocknet. Die Tesafilmstreifen wurden wieder auf die Felder der Bürstabrasion und entlang der Seitenstreifen geklebt, wie zu Beginn der Erosionen. Dann wurden die Proben in den künstlichen Mund zurückgelegt. Nach der letzten Erosion lief der künstliche Speichel noch 1 h nach, bis die Behandlung am Abend durchgeführt wurde. Nun erfolgte die gleiche Behandlung der Proben, wie zu Beginn des Tageszyklus. Dazu wurden die Tesafilmstreifen vorsichtig entfernt und die Felder für die Erosion sowie die Bereiche außerhalb der Seitenbegrenzung abgeklebt. Somit waren die Felder für die Bürstabrasion wieder frei. Ein Feld auf jeder Probe blieb somit immer unbedeckt, also bei der Bürstabrasion und bei der Erosion sowie bei der Fluoridapplikation. Nach der letzten Behandlung des Tages wurden die Proben über Nacht im künstlichen Speichel gelagert.

### **Gruppe 2F (zweimal Fluoridierung pro Tag)**

Die Behandlung der Proben der Gruppe 2F zu Beginn und zum Ende des Tageszyklus erfolgte genauso wie die der Gruppe 8F. Es fanden jedoch keine zusätzlichen Fluoridgelapplikationen statt, so dass die Proben der Gruppe 2F nur zweimal pro Tag mit Elmex<sup>®</sup> gelée fluoridiert wurden.

### **Gruppe TF (fluoridierte Zahnpasta)**

Die Proben der Gruppe TF wurden bei der Behandlung ebenfalls 120 s in ein Gemisch aus fluoridierter Zahnpasta und künstlichem Speichel gelegt und während dieser Zeit 15 s gebürstet. Es fand jedoch keine Fluoridgelapplikation statt.

## Gruppe T0 (nicht fluoridierte Zahnpasta; Kontrollgruppe)

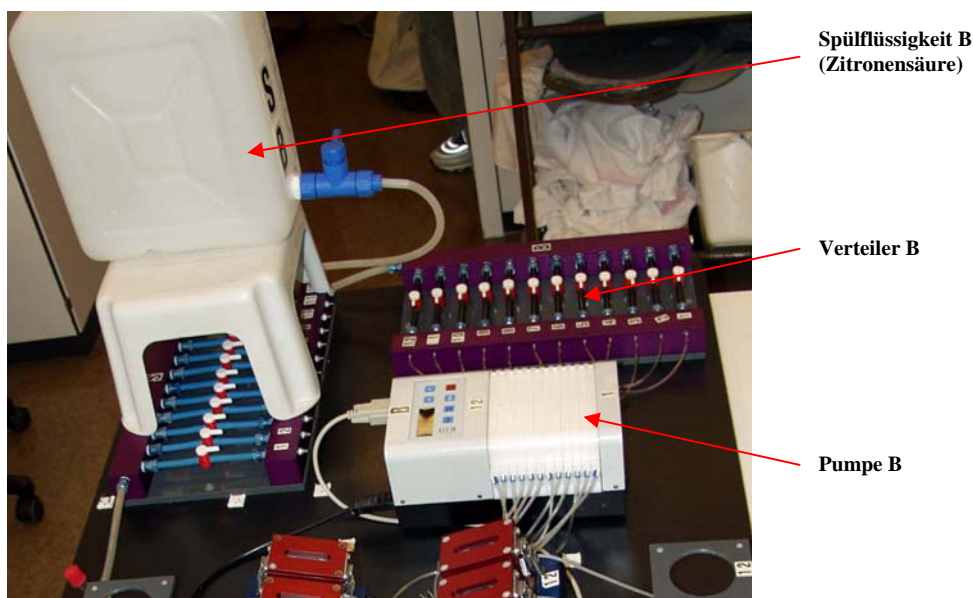
Die Behandlung der Proben der Gruppe T0 erfolgte mit einem Gemisch aus einer speziell hergestellten Zahnpasta (Elmex<sup>®</sup>, ohne Fluorid, GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz) und künstlichem Speichel (ebenfalls mit dem Mischungsverhältnis 1:3). Die Proben wurden auch hier 120 s in das Zahnpastaspeichelgemisch gelegt und während dieser Zeit 15 s gebürstet. Auch hier fand keine Fluoridapplikation statt.

Insgesamt durchliefen alle Proben diesen Tageszyklus 14 Tage lang, wobei alle neun Proben der jeweiligen Gruppe TF, 2F und 8F mit jeweils drei Proben der Kontrollgruppe T0 in einem Zyklus im künstlichen Mund montiert waren. Der Schmelzabtrag der Proben durch die Erosion, Abrasion oder durch deren Kombination wurde nach sieben und nach 14 Tagen profilometrisch (Kap. 5.1) ermittelt. Die Messungen erfolgten jeweils nach der Behandlung, am Ende des Tageszyklus.

## 4.5 Erosion

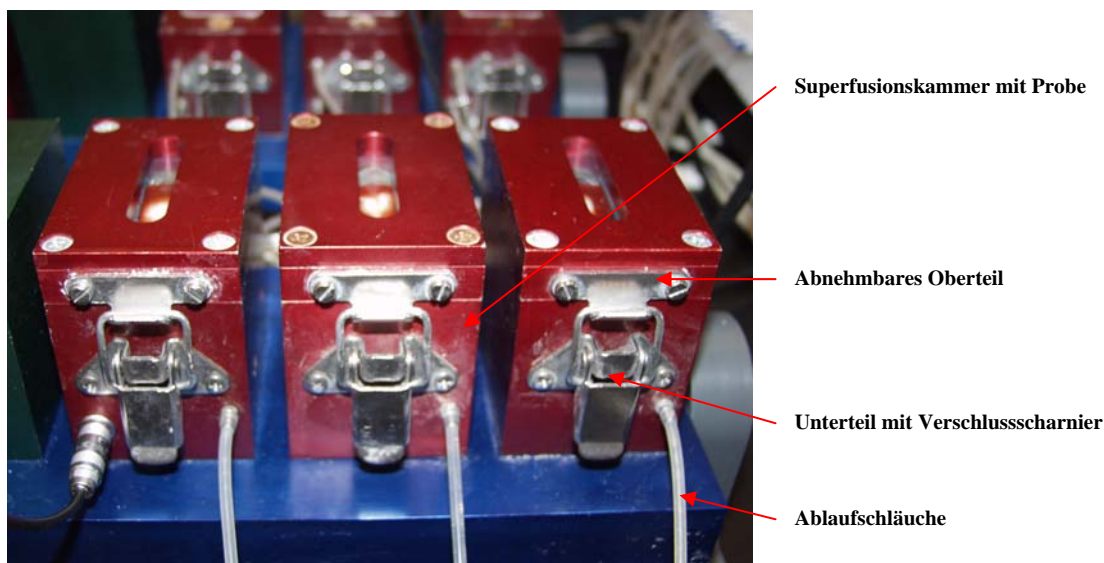
### 4.5.1 Künstlicher Mund

Beim künstlichen Mund (van den Dungen Ingenieurbüro für Industrieelektronik, Freiburg, Deutschland) handelte es sich um eine computergesteuerte Apparatur (Abb. 5). Dieser Versuchsaufbau ermöglichte software-gesteuerte (Artidental, SynopsisLogic GbR, Uslar, Deutschland) Erosionen der Schmelzoberflächen der Proben mittels 1%iger Zitronensäure. Zwischen den Erosionen fand eine permanente Remineralisation der Proben durch den kontinuierlichen Durchfluss von synthetischem Speichel statt.



**Abb. 3:** Versuchsaufbau mit Verteiler und Pumpe.

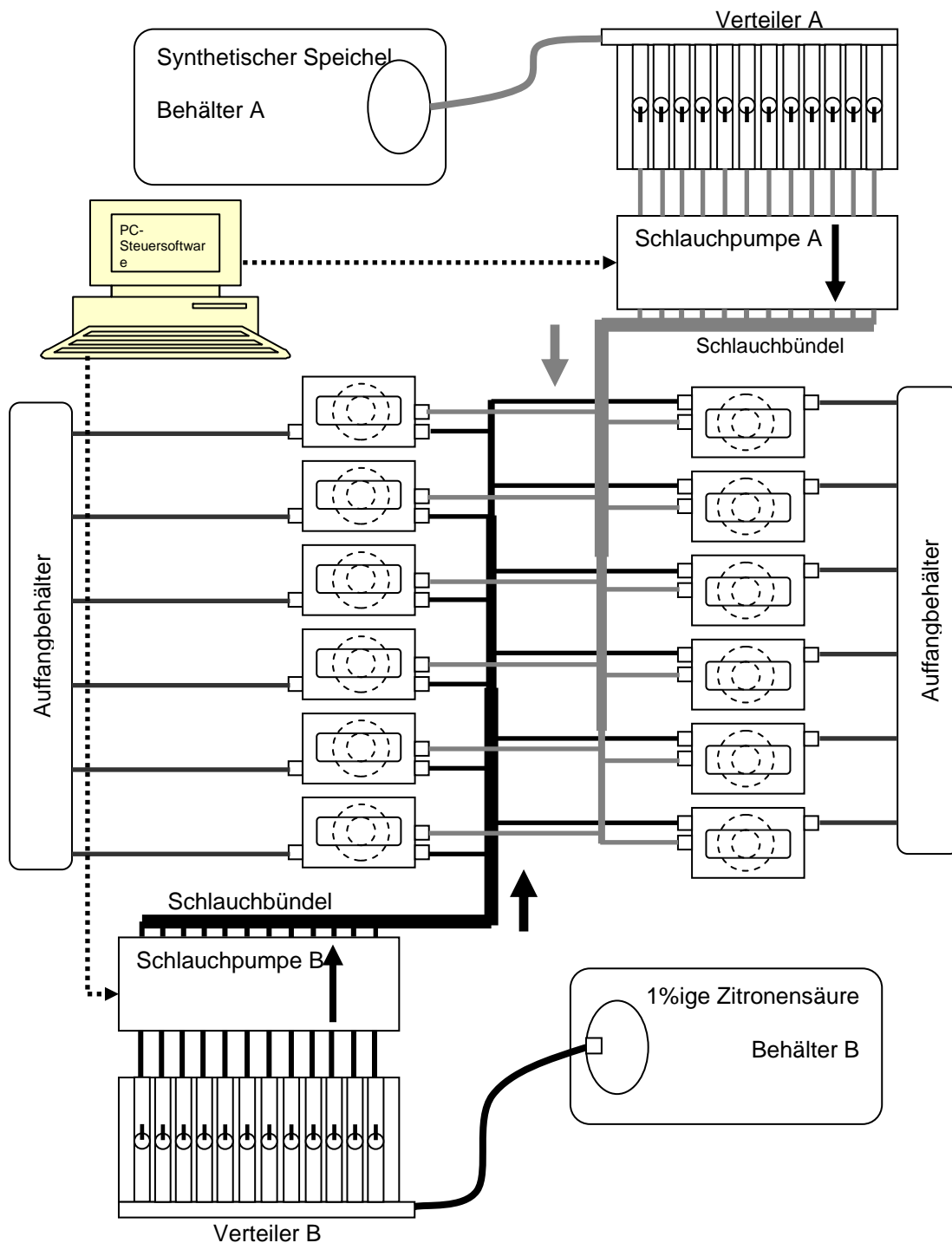
Der künstliche Mund bestand aus zwölf Einzelkammern, in welche die Proben zu Beginn des Tageszyklus nach einem bestimmten Schema hineingelegt wurden. Die Probenreihenfolge wurde bei jedem Zyklus um eine Kammerposition nach rechts verschoben, um einen etwaigen Einfluss der einzelnen Kammern des künstlichen Mundes auf die Erosion der Proben zu vermeiden. Die Proben wurden durch Spiralfedern gegen die Silikondichtung des Kammerdeckels gepresst. Somit schlossen die Silikondichtungen der Deckel der Einzelkammern mit der Oberfläche der Proben luftdicht ab. Die Deckel der Kammern bestanden aus einem Aluminiumrahmen mit eingelassener Glasplatte und wurden durch Metallspangen auf der Kammer fixiert.



**Abb. 4:** Superfusionskammern mit Proben.

Die Dichtungen waren so beschaffen, dass der synthetische Speichel und das Erosionsmedium (1%ige Zitronensäure) gezielt über die Schmelzoberflächen der Proben flossen. Der Zufluss des synthetischen Speichels aus Behälter A wurde über die Schlauchpumpe A gesteuert. Die Pumpenleistungen waren durch das Computerprogramm steuerbar, so dass verschiedene Fließgeschwindigkeiten und Intervalle eingestellt werden konnten. Die Probenkammern wurden während des Betriebs auf 37°C aufgeheizt. An den Probenkammerunterteilen war ein Messfühler des Temperaturreglers angeschlossen. Damit wurde permanent die Temperatur der Probenkammer gemessen und mittels eines Heizgerätes auf einer konstanten Temperatur von 37°C gehalten. Die zwei verschiedenen Spülflüssigkeiten wurden den Kammern über getrennte Zuflüsse zugeführt. Die Behälter hatten ein Fassungsvermögen von 10 l. Vor jedem Zyklus wurde Behälter A mit 10 l synthetischem Speichel und Behälter B mit einem Liter 1%iger Zitronensäure befüllt. Von den beiden Behältern führte jeweils ein Schlauch mit 1 cm

Durchmesser zu den zwei entsprechenden Verteilern. In den Verteilern wurden die Flüssigkeiten jeweils auf zwölf einzelne Schläuche mit einem Durchmesser von 0,152 cm verzweigt und liefen jeweils über eine computergesteuerte 12-Kanal-Schlauchpumpe (Abb. 5). Diese zwölf Schläuche stellten die Zuflüsse für die jeweiligen Kammern dar. Auf der Rückseite der Kammern befand sich ein Abfluss für die Spülflüssigkeiten. Dieser mündete in einem Auffangbehälter.



**Abb. 5:** Schemadarstellung des künstlichen Mundes.

## 4.5.2 Erosive Lösung

In dieser Studie wurde Zitronensäure als erosive Lösung verwendet, da sie ein hohes erosives Potential besitzt. Für jeden Versuchstag wurde die 1%ige Zitronensäure (10 g Zitronensäuremonohydrat (chemische Formel:  $C_6H_8O_7 \times H_2O$ ) auf 1 l demineralisiertes Wasser) frisch hergestellt, um eine konstante Konzentration zu gewährleisten. Der pH-Wert der Zitronensäure betrug pH 2,3.

## 4.6 Abrasion

### 4.6.1 Bürstapparat

Bei dieser Bürstapparat handelt es sich um eine automatische Zahnputzmaschine (Willytec GmbH, München, Deutschland) (Abb. 6). Die sechs Probenaufnahmen waren mit einer 25 mm breiten Vertiefung im Boden versehen, in die die Proben beim Bürstvorgang hineingelegt wurden. Um eine gleichmäßige Höhe zu gewährleisten, wurden für jede Probe individuelle Abstandhalter aus Silikon (Silaplast, Detax GmbH & Co. KG, Ettlingen, Deutschland) verwendet. Die Abstandhalter wurden vor jedem Bürstvorgang in die jeweiligen Vertiefungen der Kästen unter die Proben gelegt. Hinter jedem Kasten befand sich ein höhenverstellbares Gestänge, welches sich über die Kästen herunter klappen ließ. In dieses Gestänge wurde ein planer Zahnbürstenkopf (Standardzahnbürsten der American Dental Association) eingespannt. Somit wurde eine parallele Bürstbewegung zwischen Zahnbürstenkopf und der Schmelzoberfläche der Proben gewährleistet.

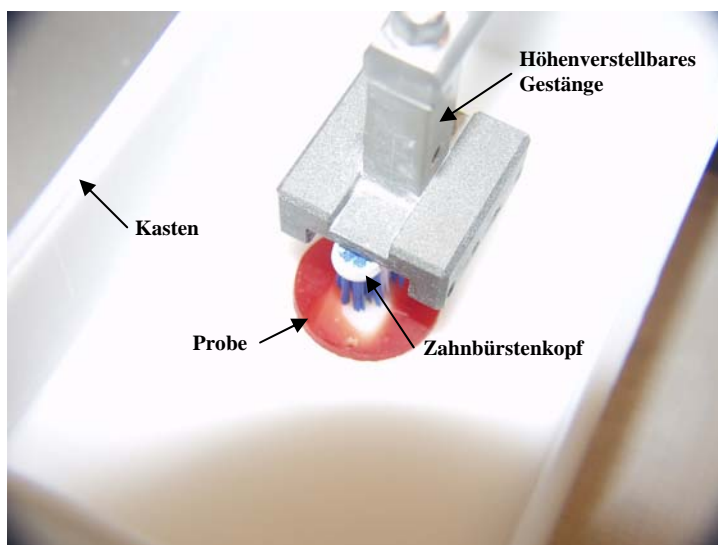


Abb. 6: Aufbau der Bürstapparat.

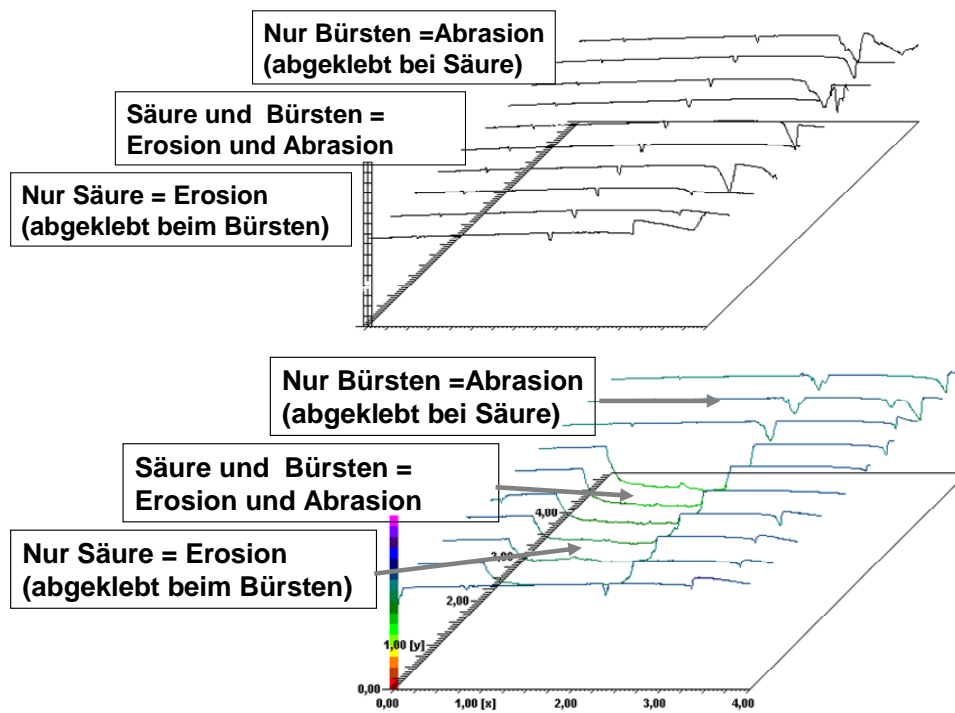
Mit einem verstellbaren Gewicht an den jeweiligen Gestängen konnte eine genau definierte Auflagekraft auf die Proben ausgeübt werden (2,5 N). Die Platte, auf der die sechs Kästen abnehmbar befestigt waren, konnte durch den Motor 55 mm vor und zurück bewegt werden, so dass sich die Proben unter dem Zahnbürstenkopf bewegten. In den 15 s der Bürstabrasion bewegte sich die Platte 30 mal vor und zurück (60 Bürststriche). Die Zuordnung der Proben in die jeweiligen Kästen erfolgte zufällig.

#### **4.6.2 Abrasionsmedium**

Das Abrasionsmedium bestand aus einem Gemisch aus Elmex<sup>®</sup> Zahnpasta (GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz), je nach Versuchsgruppe fluoridiert (1250 ppm F, pH 4,6) oder nicht fluoridiert (spezielle Rezeptur, GABA GmbH) und künstlichem Speichel mit einem Mischungsverhältnis von 1:3. Für die jeweilige Bürstbehandlung wurden 14 g Zahnpasta und 42 g künstlicher Speichel auf dem Magnetrührer (IKAMAG REO, Schütt Labortechnik, Göttingen) zu einer homogenen Suspension vermischt. Während des Bürstvorganges wurden die Probenaufnahmen der Bürstmaschine mit dem Abrasionsmedium soweit befüllt, dass die Oberflächen der Proben vollkommen bedeckt waren. Nach dem Bürstvorgang wurde das Zahnpasta-Speichel-Gemisch mit reichlich künstlichen Speichel abgespült. Vor jedem Bürstvorgang wurde das Abrasionsmedium erneuert.

#### **4.7 Profilometrische Auswertung**

Das computergesteuerte Profilometer (Perthometer PRK, Perthometer Concept 6.01, Mahr GmbH, Göttingen, Deutschland) ermöglichte die Messung des Schmelzabtrages auf der Probenoberfläche. Dazu wurden die Proben mit Hilfe ihrer Bohrung auf dem Metallblock reproduzierbar fixiert. Die Messnadel des Profilometers wurde computergesteuert senkrecht zum Erosions-/Abrasionsgraben über die Probenoberfläche geführt. Der Substanzverlust durch die Erosion und Abrasion wurde somit über die Höhendifferenz zwischen Erosions-/Abrasionsgraben und der intakten Schmelzoberfläche seitlich des Grabens bestimmt. Dabei wurden für jede Probe zehn Einzelprofile erstellt, drei in jedem der einzelnen Felder A-C (Abb. 7) und ein Einzelprofil außerhalb der drei zu messenden Felder. Dieses Einzelprofil diente als Referenzmessung zur exakten Justierung der Messnadel.



**Abb. 7:** Profilometrische Ausgangs- und Abschlussmessung.

Hierfür wurde eine Startmarkierung für die Messnadel auf der Probenoberfläche markiert. Somit ergaben sich drei Messungen pro Feld, die dann bei der Auswertung zu einem Mittelwert zusammengefasst wurden. Die Proben blieben während der gesamten Messung ständig feucht. Die Messstrecke des jeweiligen Einzelprofils betrug 8 mm, um die Referenzbereiche seitlich des Grabens zu erfassen. Die zehn Einzelprofile wurden in Abständen von 0,44 mm gemessen.

## 4.8 Statistik

Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test untersucht. Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurde die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen bezüglich des Zahnhartsubstanzverlustes mit dem nichtparametrischen Wilcoxon-Test auf statistisch signifikante Unterschiede getestet ( $p < 0,05$ ).

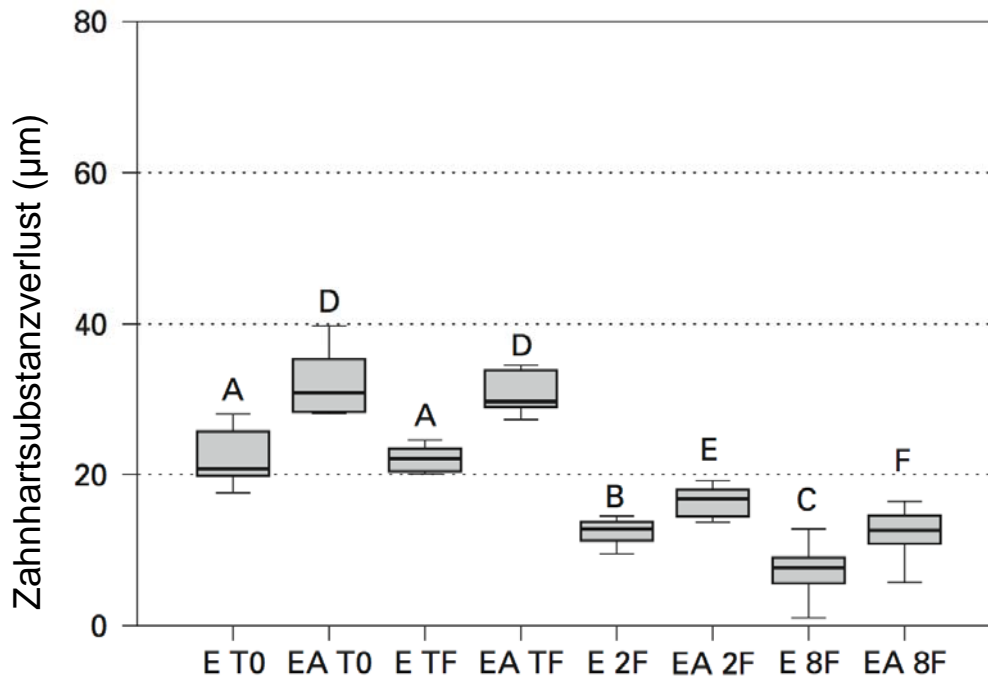
## 5 Ergebnisse

### 5.1 Bestimmung des Zahnschmelzverlustes

Nach sieben Tagen erfolgte die erste profilometrische Messung der Schmelzoberflächen. Die Ergebnisse sind in der Abb. 8 dargestellt. Die Behandlung der Schmelzoberflächen mit fluoridhaltiger Zahnpasta (TF) zeigte keinen signifikanten Unterschied zur Behandlung mit Zahnpasta ohne Fluorid (T0). Im Gegensatz dazu sind alle Vergleiche zwischen Zahnpasta und Fluoridgel signifikant. Nach sieben Tagen war der Unterschied zwischen der zweifachen und der achtfachen Fluoridapplikation noch statistisch signifikant messbar. Nach 14 Tagen war dieser Unterschied nicht mehr signifikant (Abb. 9). Die ausschließliche Abrasion (Feld C, Abb. 8) war aufgrund des geringen Zahnhartsubstanzverlustes ( $< 0,3 \mu\text{m}$ ) nicht messbar und ist somit in der Datenübersicht nicht aufgeführt.

Fluoridierte Zahnpasta allein verhindert Erosion bis zu 8 % ( $4 \mu\text{m}$ ) im Gegensatz zur Anwendung nicht fluoridierter Zahnpasta. Mit erhöhten Konzentrationen von Fluorid bei gleichzeitig erhöhter Anwendungshäufigkeit konnten bis zu 63 % der Erosion verhindert werden ( $p < 0,05$ ). Es ergab sich somit eine dosisabhängige Wirkung von Fluorid auf den erosiven Schmelzverlust. Die Fluoridbehandlungen beeinflussten die Abrasionsresistenz nach Erosion kumulativ. Die Schmelzabtrags-hemmende Wirkung der Fluoridbehandlungen in der Gruppe der Erosion in Verbindung mit Abrasion war größer, als in der reinen Erosionsgruppe ( $p < 0,05$ ; Abb. 8 und Abb. 9). Die jeweiligen Unterschiede zwischen den Fluoridbehandlungen blieben nach sieben bzw. 14 Tagen gleich, ohne einen verstärkenden Effekt. Erosion in Verbindung mit Bürstabrasion führte zu 31-61 % ( $10\text{-}20 \mu\text{m}$ ) mehr Schmelzverlust als Erosion allein ( $p < 0,05$ ). Fluorid zeigte auch bei Erosion in Verbindung mit Abrasion eine dosisabhängige Wirkung.





**Abb. 8:** Darstellung der Grabentiefen der Schmelzoberflächen nach sieben Tagen.

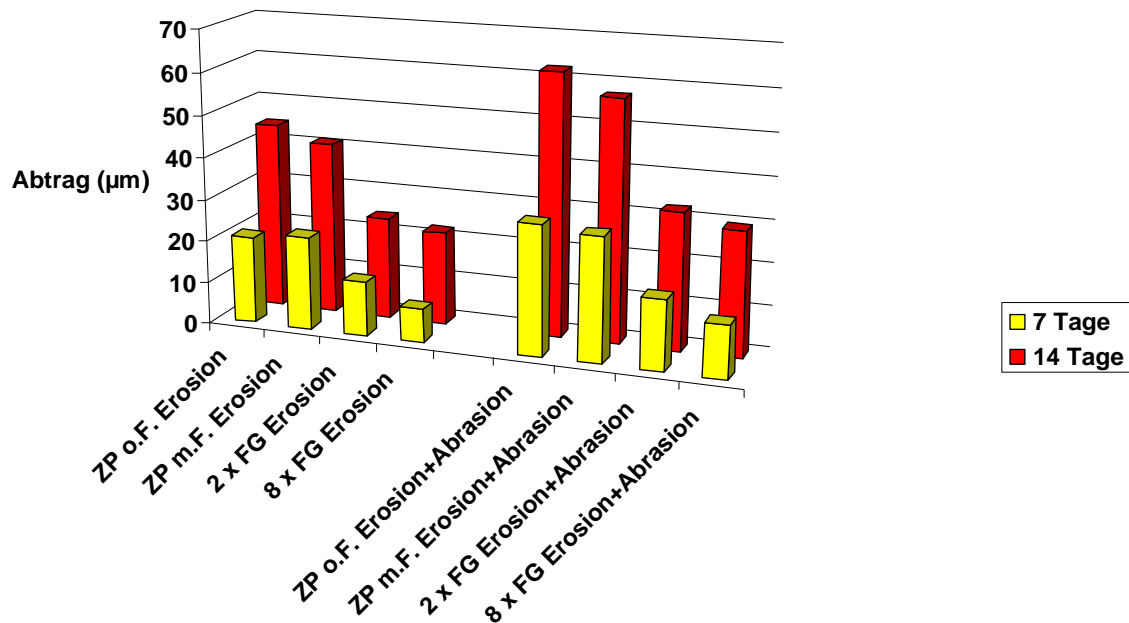
Die Bezeichnungen: E = Erosion durch Säure, EA = Erosion durch Säure und Abrasion durch Bürsten, T0 = Zahnpasta ohne Fluorid, TF = Zahnpasta mit Fluorid (1250 ppm F), 2F = Zahnpasta mit Fluorid und zweimal pro Tag Fluoridgel (12500 ppm F), 8F = Zahnpasta mit Fluorid und achtmal pro Tag Fluoridgel. Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben ( $p < 0,05$ ) gekennzeichnet.



**Abb. 9:** Darstellung der Grabentiefen der Schmelzoberflächen nach 14 Tagen.

Die Bezeichnungen: E = Erosion durch Säure, EA = Erosion durch Säure und Abrasion durch Bürsten, T0 = Zahnpasta ohne Fluorid, TF = Zahnpasta mit Fluorid (1250 ppm F), 2F = Zahnpasta mit Fluorid und zweimal pro Tag Fluoridgel (12500 ppm F), 8F = Zahnpasta mit Fluorid und achtmal pro Tag Fluoridgel. Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben ( $p < 0,05$ ) gekennzeichnet.

Nach 14 Tagen ist der Unterschied zwischen der Behandlung mit Fluoridgel und mit Zahnpasta eindeutig erkennbar. Die Mediane aller Messungen sind im Säulendiagramm Abb. 10 gegenübergestellt.



**Abb. 10:** Mediane der Grabentiefe.

ZP o.F. = Zahnpasta ohne Fluorid, ZP m.F. = Zahnpasta mit Fluorid, FG = Fluoridgel

## 5.2 Statistische Auswertung

Die Mediane wurden für jede Gruppe, für Erosion und für Erosion in Verbindung mit Abrasion nach sieben und nach 14 Tagen Versuchsdurchlauf errechnet. Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden die Ergebnisse zunächst auf Normalverteilung untersucht. Es zeigte sich, dass die Ergebnisse nicht normal verteilt waren. Deswegen wurden paarweise Vergleiche zwischen den Gruppen mit dem nichtparametrischen Wilcoxon-Test auf statistisch signifikante Unterschiede getestet ( $p < 0,05$ ).

**Tab. 3:** P-Werte

	7 Tage Erosion	7 Tage Erosion und Abrasion	14 Tage Erosion	14 Tage Erosion und Abrasion
T0 vs. TF	0,7911	0,7239	0,3314	0,0774
TF vs. 2F	0,0004*	0,0004*	0,0011*	0,0004*
TF vs. 8F	0,0004*	0,0004*	0,0004*	0,0004*
2F vs. 8F	0,0015*	0,0062*	0,3772	0,2510

\*- statistisch signifikanter Unterschied ( $p < 0,05$ )

## **6 Diskussion**

### **6.1 Diskussion der Methode**

#### **6.1.1 Schmelzproben**

Für die aktuelle Studie wurden frisch extrahierte Rinderfrontzähne verwendet. Verschiedene Rinderzähne unterscheiden sich weniger in ihrem Aufbau als menschliche Zähne verschiedener Individuen. So ergeben sich einheitliche Bedingungen für die Versuche (Mellberg, 1992). Hinzu kommt, dass Rinderzähne besser verfügbar sind. Arends et al. (1979) stellten in ihrer Studie fest, dass der bovine Zahnschmelz geringfügig weicher ist, als der humane Zahnschmelz. Auch wiesen Featherstone und Mellberg (1981) und Meurman et al. (1990) in ihren Studien eine schneller voranschreitende Erosion in bovinem Zahnschmelz als in humanem Zahnschmelz nach. Mellberg und Loertscher (1974) zeigten, dass die Fluoridkonzentration des bovinen Zahnschmelzes geringer ist, als die Fluoridkonzentration des humanen Zahnschmelzes. Die chemische Struktur von bovinem Zahnschmelz und dessen Reaktion gegenüber Erosions- und Abrasionsattacken ist jedoch vergleichbar mit der des humanen Zahnschmelzes. Somit sind die Ergebnisse der Studie auf menschliche Zähne übertragbar (Davidson et al., 1973). Esser et al. (1998) stellten in ihrer Studie zusammenfassend fest, dass bovine Zahnschmelzproben sehr gut anstelle von humanen Zahnschmelzproben verwendet werden können und somit zur Untersuchung von Erosionen geeignet und wissenschaftlich akzeptiert sind.

#### **6.1.2 Remineralisation**

In der vorliegenden Studie wurde künstlicher Speichel als Remineralisationslösung verwendet, weil einerseits große Mengen benötigt wurden und andererseits natürlicher Speichel die Pumpen verstopft (Attin et al., 2003). Aus diesem Grund wurde der künstliche Speichel nach der Rezeptur von Klimek et al. (1982) ohne Muzin angemischt. Somit konnten die Pumpen störungsfrei arbeiten.

Attin et al. (1996) untersuchten in ihrer Studie, welche Bedeutung Muzin im Speichel auf die Entstehung von Schmelzerosionen hat. Dabei wurden bovine Zahnschmelzproben Erosionen ausgesetzt und anschließend wurde ein Teil der Proben mit muzinhaltigem Speichel und der andere Teil mit muzinfreiem Speichel remineralisiert. Es konnte kein signifikanter

Unterschied zwischen den verschiedenen Proben gezeigt werden. Somit hat das Muzin keinen Einfluss auf die Remineralisation von bovinen Zahnschmelzproben.

Zusätzlich zur Remineralisation durch den künstlichen Speichel wurden einige Proben in der vorliegenden Studie mehrfach pro Tag mit Fluoridgel behandelt. Dieses aufgetragene Fluoridgel wurde anschließend immer mit künstlichem Speichel abgespült. Es wurden keine Rückstände vom Fluoridgel bei einer Untersuchung mit Hilfe eines Stereomikroskopes (66-fache Vergrößerung) festgestellt.

### **6.1.3 Demineralisation**

In der vorliegenden Studie wurde für die Demineralisation des Zahnschmelzes 1%ige Zitronensäure (10 g Zitronensäure-Monohydrat mit der chemische Formel:  $C_6H_8O_7 \times H_2O$  auf 1 l demineralisiertes Wasser), mit einem pH-Wert von 2,3 verwendet. Die Zitronensäure wurde täglich frisch nach identischer Rezeptur und gleichem methodischen Ablauf hergestellt. Die Schmelzproben in der vorliegenden Studie wurden vor der künstlichen Demineralisation nicht mit einem oberflächlichen Speichelpellikel inkubiert. Zudem herrschte im künstlichen Mund ein permanenter Flüssigkeitsstrom, sodass es nicht zur Ausbildung eines Sättigungsgradienten der flüssigen Phase über der Zahnhartsubstanz kam.

## **6.2 Diskussion der Ergebnisse**

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass Fluoride effektiv vor Erosionen schützen. Hochkonzentriertes Fluoridgel bietet einen signifikant höheren Schutz bei Erosions- bzw. Erosions- und Abrasionsdefekten im Zahnschmelz als fluoridierte Zahnpasta. Dabei zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen der zweifachen und der achtfachen Applikation des Fluoridgels pro Tag.

Der schützende Effekt der Fluoride gegenüber Zahnhartsubstanzverlust durch schwere Säureattacken ist viel diskutiert worden. Einige Studien haben nur geringe schützende Effekte gezeigt (van Rijkom et al., 2003; Hughes et al., 2004). In einer Studie von Ganss et al. (2001) haben profilometrische Messungen gezeigt, dass ein einmaliges Auftragen von fluoridierter Zahnpasta auf eine erodierte Schmelzoberfläche einen schützenden Effekt von ca. 20 % erzielte. Die Anwendung der fluoridierten Zahnpasta in der vorliegenden Studie zeigte lediglich einen geringen Schutz gegenüber Erosion und Bürstabrasion (8 %). Ganss et al. (2001) konnten keinen signifikanten Unterschied in der Behandlung von Erosionsdefekten mit

hoch konzentrierten Fluoridpräparaten und fluoridierter Zahnpasta feststellen. In der vorliegenden Studie hingegen konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen gezeigt werden. Mehrere Faktoren, wie z.B. die Fluoridretention auf der Probenoberfläche, lokales Konzentrationsgefälle und Veränderung in der Widerstandsfähigkeit gegenüber Oberflächenabrasion durch Fluoride, haben die Ergebnisse der vorliegenden Studie beeinflusst. Die Fluoridaufnahme an der Schmelzoberfläche kann durch verschiedene Formen der Applikation, wie z.B. in Form von Lösungen, Gelen oder Lacken, verändert werden (Marinho et al., 2003). Da nach jeder Fluoridierung das Gel vollständig von der Zahnschmelzoberfläche entfernt wurde, ist anzunehmen, dass die hohe Konzentration an Fluorid, bei geringem pH-Wert, zur Bildung einer  $\text{CaF}_2$ -ähnlichen Schicht geführt hat (Cruz et al., 1992). Es kann folglich angenommen werden, dass diese Fluoridanlagerung zu einer besseren Remineralisation während der Phase des Umspülens mit künstlichem Speichel geführt hat und somit auch zu einem besseren Schutz vor dem erosiven Anlösen des Zahnschmelzes mit folgendem Zahnhartsubstanzverlust. In anderen Studien wurde gezeigt, dass die Einwirkzeit in Zusammenhang mit dem Betrag und der Dichte der  $\text{CaF}_2$ -ähnlichen Schicht steht (Duschner et al., 1997; Petzold, 2001).

Entscheidender für die erosions-hemmende Wirkung der Fluoridgele dürfte sein, dass Fluoride das Auflösen des Zahnschmelzes durch Säure reduzieren und demnach auch ein zusätzlicher Nutzen zum Schutz vor Abrasion entsteht. Die gebildete  $\text{CaF}_2$ -Schicht bietet zudem einen mechanischen Schutz auf der Zahnschmelzoberfläche vor Bürstabrasion. Der nächste Schritt in der Entwicklung eines Behandlungskonzeptes bei Erosionen mit Hilfe von Fluoriden wäre ein optimiertes Behandlungssystem zu entwickeln, welches den höchstmöglichen Schutz bietet, ohne die Gesundheit des Patienten durch eine Überdosierung zu gefährden. Darüber hinaus ist die Methode der Fluoridapplikation ausschlaggebend für die Fluoridverfügbarkeit zum Zeitpunkt des erosiven Angriffs. Solch ein optimiertes System und eine derartige Applikationsmethode müsste nochmals durch in-vitro- und in-vivo-Studien erarbeitet werden.

### 6.3 Schlussfolgerung

Es konnte gezeigt werden, dass Elmex<sup>®</sup> gelée im Gegensatz zu fluoridierter und nicht fluoridierter Zahnpasta einen viel größeren Schutz des Zahnschmelzes vor Erosion und Erosion in Verbindung mit Abrasion bietet, wobei die zweimal tägliche Anwendung des Fluoridgels anhand dieser Versuchsergebnisse optimal erscheint.

## 7 Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, den maximal erreichbaren Schutz des Zahnschmelzes nach Erosion und Erosion in Verbindung mit Abrasion durch hochkonzentriertes Fluoridgel mit zusätzlichem Fluorid aus Zahnpasta zu ermitteln. Dazu wurden 36 Zahnschmelzproben von frisch extrahierten Rinderfrontzähnen gewonnen. Zu Beginn wurde von jeder Probe die Ausgangs-Mikrohärte bestimmt und somit eine stratifizierte randomisierte Aufteilung in vier Gruppen vorgenommen. Während eines 14-tägigen Erosions-Zyklus wurden alle Proben im künstlichen Mund mit künstlichem Speichel behandelt. Dabei fand täglich sechsmal alle zwei Stunden für 30 s eine Erosion mit 1%iger Zitronensäure (pH 2,3) statt. Im Anschluss an den jeweiligen Erosions-Zyklus erfolgte eine 12-stündige Remineralisationsphase mit künstlichem Speichel statt. Die Proben wurden jeweils vor Beginn und am Ende des täglichen Erosions-Zyklus gruppenspezifisch wie folgt behandelt: Täglich zweimal eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches (120 s) mit einer speziell hergestellten Zahnpasta (Elmex<sup>®</sup>, ohne Fluorid, GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz) (Gruppe T0). Täglich zweimal eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpasta (1250 ppm F, Elmex<sup>®</sup>) (Gruppe TF). Täglich zweimal eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpasta (Elmex<sup>®</sup>) und zusätzlich täglich zweimal eine Applikation eines sauren Fluoridgels (12500 ppm F, Elmex<sup>®</sup> gelée) für 120 s (Gruppe 2F). Täglich zweimal eine Applikation eines Zahnpasta-Speichel-Gemisches mit einer fluoridierten Zahnpasta (Elmex<sup>®</sup>) und zusätzlich täglich achtmal Applikation eines sauren Fluoridgels (12500 ppm F, Elmex<sup>®</sup> gelée) (Gruppe 8F).

Während der täglichen Applikation des Zahnpasta-Speichel-Gemisches wurde wiederum ein Abschnitt jeder Probe zusätzlich einer Bürstabrasion von 15 s (60 Bürststriche) unterzogen. Die Bürstabrasion allein konnte profilometrisch nicht gemessen werden, da der Zahnschmelzverlust dafür zu gering war. Nach 14 Tagen zeigten die profilometrischen Messungen der Erosion ohne Abrasion, dass die Proben, die mit Elmex<sup>®</sup> gelée täglich zwei- bzw. achtmal behandelt wurden, signifikant weniger Schmelzverlust (24/19 µm) aufzeigten, als die, die mit fluoridfreier, bzw. fluoridierter Zahnpasta (45/41 µm) behandelt wurden. Nach 14 Tagen Erosion mit Bürstabrasion zeigte die zwei- bzw. achtmalige Applikation des Fluoridgeles (33/29 µm) ebenfalls einen signifikant geringeren Schmelzverlust als die Behandlung mit fluoridfreier, bzw. fluoridierter Zahnpasta (62/57 µm). Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lässt sich schließen, dass hoch konzentriertes saures Fluoridgel mit Aminfluorid (Elmex<sup>®</sup> gelée) einen signifikant größeren Schutz des Zahnschmelzes vor

---

Erosion und Erosion in Verbindung mit Abrasion bietet, wobei die täglich zweimalige Anwendung anhand dieser Versuchsergebnisse optimal erscheint. Die Behandlung mit fluoridierter Zahnpasta hingegen bietet nur einen geringen Schutz des Zahnschmelzes.

## 8 Literaturverzeichnis

Addy M, Shellis RP (2006):

Interaction between attrition, abrasion and erosion in tooth wear.

Monogr Oral Sci 20, 17-31

Amin WM, Al-Omouh SA, Hattab FN (2001):

Oral health status of workers exposed to acid fumes in phosphate and battery industries in Jordan.

Int Dent J 51, 169-174

Arends J, Jongebloed WL (1978):

Crystallites dimensions of enamel.

J Biol Buccale 6, 161-171

Arends J, Schuthof J, Jongebloed WG (1979):

Microhardness indentations on artificial white spot lesions.

Caries Res 13, 290-297

Arends J, Christoffersen J, Christoffersen MR, Schuthof J (1983):

Influence of fluoride concentration on the progress of demineralization in bovine enamel at pH 4.5.

Caries Res 17, 455-457

Arnold WH, Dorow A, Langenhorst S, Gintner Z, Bánóczy J, Gaengler P (2006):

Effect of fluoride toothpastes on enamel demineralization.

BMC Oral Health 6, 8

Arnold WH, Haase A, Hacklaender J, Gintner Z, Bánóczy J, Gaengler P (2007):

Effect of pH of amine fluoride containing toothpastes on enamel remineralization in vitro.

BMC Oral Health 7, 14



Attin T, Hilgers RD, Hellwig E (1996):

Einfluss von Muzin im Speichel auf die Entstehung von Schmelzerosionen.

Dtsch Zahnärztl Z 51, 506-510

Attin T, Koidl U, Buchalla W, Schaller HG, Kielbassa AM, Hellwig E (1997):

Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel.

Arch Oral Biol 42, 243-250

Attin T, Deifuss H, Hellwig E (1999):

Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel.

Caries Res 33, 135-139

Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon ÁM (2003):

Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion.

Arch Oral Biol 48, 753-759

Barbour ME, Rees GD (2006):

The role of erosion, abrasion and attrition in tooth wear.

J Clin Dent 17, 88-93

Bartlett DW, Smith BG, Wilson RF (1994):

Comparison of the effect of fluoride and non-fluoride toothpaste on tooth wear in vitro and the influence of enamel fluoride concentration and hardness of enamel.

Br Dent J 176, 346-348

Bartlett DW, Evans DF, Anggiansah A, Smith BG (1996):

A study of association between gastro-oesophageal reflux and palatal dental erosion.

Br Dent J 181, 125-131

Baxter PM, Davis WB, Jackson J (1981):

Toothpaste abrasive requirements to control naturally stained pellicle. The relation of cleaning power to toothpaste abrasivity.

J Oral Rehabil 8, 19-26

Brighenti FL, Delbem AC, Buzalaf MA, Oliveira FA, Ribeiro DB, Sasaki KT (2006):

In vitro evaluation of acidified toothpastes with low fluoride content.

Caries Res 40, 239-244

Bruun C, Lambrou D, Larsen MJ, Fejerskov O, Thylstrup A (1982):

Fluoride in mixed human saliva after different topical fluoride treatments and possible relation to caries inhibition.

Community Dent Oral Epidemiol 10, 124-129

Chow LC, Guo MK, Hsieh CC, Hong YC (1980):

Reactions of powdered human enamel and fluoride solutions with and without intermediate  $\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  formation.

J Dent Res 59, 1447-1452

Cruz R, Ogaard B, Rolla G (1992):

Uptake of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in sound human enamel after topical applikation of a fluoride varnish (Duraphat) or a neutral 2% NaF solution in vitro.

Scand J Dent Res 100, 154-158

Davidson CL, Boom G, Arends J (1973):

Calcium distribution in human and bovine surface enamel.

Caries Res 7, 349-359

Davis WB, Winter PJ (1980):

The effect of abrasion on enamel and dentine and exposure to dietary acid.

Br Dent J 148, 253-256

Deporter WA (1977):

The early mineralization of enamel. Fine structural observations on the cellular localization of calcium with the potassium pyroantimonate technique.

Calcif Tissue Res 24, 271-274

Dibdin GH (1972):

The stability of water in human dental enamel studied by proton nuclear magnetic resonance.  
Arch Oral Biol 17, 433-437

Dijkman AG, Tak J, Arends J (1982):

Fluoride deposited topical applications in enamel. KOH-soluble and acquired fluoride.  
Caries Res 16, 147-155

Dugmore CR, Rock WP (2003):

The progression of tooth erosion in a cohort of adolescents of mixed ethnicity.  
Int J Paediatr Dent 13, 295-303

Duschner H, Uchtmann H, Duschner HA (1984):

Wirkungsmechanismen von Fluorid nach Duraphat<sup>®</sup>-Behandlung.  
Dtsch Zahnärztl Z 39, 705-709

Duschner H, Götz H, Ogaard B (1997):

Fluoride-induced precipitates on enamel surface and subsurface areas visualised by electron microscopy and confocal laser scanning microscopy.  
Eur J Oral Sci 105, 466-472

Eccles JD (1979):

Dental erosion of nonindustrial origin. A clinical survey and classification.  
J Prosthet Dent 42, 649-653

Eccles JD, Jenkins WG (1974):

Dental erosion and diet.  
J Dent 2, 153-159

Esser M, Tinschert J, Marx R (1998):

Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz.  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 713-717

Featherstone JD, Mellberg JR (1981):

Relative rates of progress of artificial carious lesions in bovine, ovine and human enamel.

Caries Res 15, 109-114

Fejerskov O, Larsen MJ, Richards A, Baelum V (1994):

Dental tissue effects of fluoride.

Adv Dent Res 8, 15-31

Gallien GS, Kaplan I, Owens BM (1994):

A review of noncarious dental cervical lesions.

Compendium 15, 1366, 1368-1372, 1374

Ganss C (2006):

Definition of erosion and links to tooth wear.

Monogr Oral Sci 20, 9-16

Ganss C, Schleichtriemen M, Klimek J(1999):

Dental erosions in subjects living on a raw food diet.

Caries Res 33, 74-80

Ganss C, Klimek J, Schäffer U, Spall T (2001):

Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro.

Caries Res 35, 325-330.

Ganss C, Klimek J, Brune V, Schürmann A (2004):

Effects of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in situ.

Caries Res 38, 561-566

Ganss C, Schlueter N, Friedrich D, Klimek J (2007):

Efficacy of waiting periods and topical fluoride treatment on toothbrush abrasion of eroded enamel in situ.

Caries Res 41, 146-151

Grippo JO (1991):

Abfractions: a new classification of hard tissue lesions of teeth.

J Esthet Dent 3, 14-19

Hellwig E, Klimek J, Attin T:

Einführung in die Zahnerhaltung.

2. Auflage, Urban und Fischer, München – Jena 1999

Hotz PR (1983):

Untersuchungen zur Abrasivität von Zahnpasten.

Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 93, 93-99

Hughes JA, West NX, Addy M (2004):

The protective effect of fluoride treatments against enamel erosion in vitro.

J Oral Rehabil 31, 357-363

Imfeld T (1996):

Prevention of progression of dental erosion by professional and individual prophylactic measures.

Eur J Oral Sci 104, 215-220

Ingram GS, Silverstone LM (1981):

A chemical and histological study of artificial caries in human dental enamel in vitro.

Caries Res 15, 393-398

Jaeggi T, Lussi A (1999):

Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study.

Caries Res 33, 455-461

Järvinen VK, Rytömaa II, Heinonen OP (1991):

Risc factors in dental erosion.

J Dent Res 70, 942-947

Järvinen V, Rytömaa I, Meurman JH (1992):

Location of dental erosion in a referred population.

Caries Res 26, 391-396

Jensdottir T, Arnadottir IB, Thorsdottir I, Bardow A, Gudmundsson K, Theodors A, Holbrook WP (2004):

Relationship between dental erosion, soft drink consumption, and gastroesophageal reflux among Icelanders.

Clin Oral Invest 8, 91-96

Klimek J, Hellwig E, Ahrens G (1982):

Der Einfluss von Plaque auf die Fluoridstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund.

Dtsch Zahnärztl Z 37, 836-840

Lagerweij MD, ten Cate JM (2002):

Remineralisation of enamel lesions with daily applications of a high-concentration fluoride gel and a fluoridated toothpaste: an in situ study.

Caries Res 36, 270-274

Linnett V, Seow WK (2001):

Dental erosion in children: a literature review.

Pediatr Dent 23, 37-43

Little MF, Casciani FS (1966):

The nature of water in sound human enamel. A preliminary study.

Arch Oral Biol 11, 565-571

Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P (1991):

Dental erosion in a population of Swiss adults.

Community Dent Oral Epidemiol 19, 286-290

Lussi A, Jaeggi T, Zero D (2004):

The role of diet in the aetiology of dental erosion.

Caries Res 38, 34-44

Lynch RJ, Navada R, Walia R (2004):

Low-levels of fluoride in plaque and saliva and their effects on the demineralisation and remineralisation of enamel; role of fluoride toothpastes.

Int Dent J 54, 304-309

Mahoney EK, Kilpatrick NM (2003):

Dental erosion: part 1. Aetiology and prevalence of dental erosion.

N Z Dent J 99, 33-41

Marinho VC, Higgins JP, Logan S, Sheiham A (2003):

Topical fluoride (toothpastes, mouthrinses, gels or varnishes) for preventing dental caries in children and adolescents.

Cochrane Database Syst Rev 4, CD002782

Mellberg JR (1992):

Hard-tissue substrates for evaluation of cariogenic and anti-cariogenic activity in situ.

J Dent Res 71, 913-919

Mellberg JR, Loertscher KL (1974):

Comparison of in vitro fluoride uptake by human and bovine enamel from acidulated phosphate-fluoride solutions.

J Dent Res 53, 64-67

Meurman JH, Frank RM (1991):

Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel.

Caries Res 25, 81-87

Meurman JH, Torkko H, Hirvonen J, Koskinen J, Rytömaa I (1990):

Application of a new mechanical properties microprobe to study hardness of eroded bovine enamel in vitro.

Scand J Dent Res 98, 568-570

Milosevic A, Jones C (1996):

Use of resin-bonded ceramic crowns in a bulimic patient with severe tooth erosion.

Quintessence Int 27, 123-127

Munoz JV, Herreros B, Sanchiz V, Amoros C, Hernandez V, Pascual I, Mora F, Minguez M, Bagan JV, Benages A (2003):

Dental and periodontal lesions in patients with gastro-oesophageal reflux disease.

Dig Liver Dis 35, 461-467

Murray JJ, Winter GB, Hurst CP (1977):

Duraphat<sup>®</sup> fluoride varnish. A 2-year clinical trial in 5-year-old children.

Br Dent J 143, 11-17

Nikiforuk G (1985):

Understanding dental caries.

Bd.1 und 2, S.Karger, Basel, 1985

Paszynska E, Limanowska-Shaw H, Slopian A, Rajewski A (2006):

Evaluation of oral health in bulimia nervosa.

Psychiatr Pol 40, 109-118

Patel PR, Brown WE (1975):

Thermodynamic solubility product of human tooth enamel: powdered sample.

J Dent Res 54, 728-736

Petersen PE, Gormsen C (1991):

Oral conditions among German battery factory workers.

Community Dent Oral Epidemiol 19, 104-106

Petzold M (2001):

The influence of different fluoride compounds and treatment conditions on dental enamel: a descriptive in vitro study of the CaF<sub>2</sub> precipitation and microstructure.

Caries Res 35, 45-51



van Rijkom H, Ruben J, Vieira A, Huysmans MC, Truin GJ, Mulder J (2003):  
Erosion-inhibiting effect of sodium fluoride and titanium tetrafluoride treatment in vitro.  
Eur J Oral Sci 111, 253-257

Robinson C, Fuchs P, Deutsch D, Weatherell JA (1978):  
Four chemically distinct stages in developing enamel from bovine incisor teeth.  
Caries Res 12, 1-11

Scheutzel P (1996):  
Etiology of dental erosion-intrinsic factors.  
Eur J Oral Sci 104, 178-190.

Schmidt N, Ganss C, Klimek J (2003):  
Ätiologie, Epidemiologie und Therapie von Erosionen.  
Oralprophylaxe 25

Schroeder HE:  
Pathobiologie oraler Strukturen.  
4. Auflage, Karger, Basel 1992

Schweizer-Hirt CM, Schait A, Schmid R, Imfeld T, Lutz F, Mühlemann HR (1978):  
Erosion und Abrasion des Schmelzes: Eine experimentelle Studie.  
Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 88, 497-529

Seppä L, Hausen H, Luoma H (1982):  
Relationship between caries and fluoride uptake by enamel from two fluoride varnishes in a  
community with fluoridated water.  
Caries Res 16, 404-412

Sognaes (1963):  
Destruction of Hard Tissue by Biological Organisms.  
Science 139, 849-851

Ten Cate JM, Imfeld T (1996):

Dental erosion, summary.

Eur J Oral Sci 104, 241-244

Valena V, Young WG (2002):

Dental erosion patterns from intrinsic acid regurgitation and vomiting.

Aust Dent J 47, 106-115

Weatherell JA, Weidmann SM, Hamm SM (1967):

Density patterns in enamel.

Caries Res 1, 42-51

Wiegand A, Krieger C, Attin R, Hellwig E, Attin T (2005):

Fluoride uptake and resistance to further demineralisation of demineralised enamel after application of differently concentrated acidulated sodium fluoride gels.

Clin Oral Investig 9, 52-57

Wiegand A, Muller J, Werner C, Attin T (2006):

Prevalence of erosive tooth wear and associated risk factors in 2-7-year-old German kindergarden children.

Oral Dis 12, 117-124

Young RA (1974):

Implications of atomic substitutions and other structural details in apatites.

J Dent Res 53, 193-203

Zero DT (1996):

Etiology of dental erosion-extrinsic factors.

Eur J Oral Sci 104, 162-177

## 9 Anhang

### 9.1 Chemikalien

Ammoniumchlorid	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Ascorbinsäure	Fa. Caesar und Loretz GmbH, Hilden
Calciumchloriddihydrat	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Citronensäuremonohydrat	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
D-Glucose wasserfrei	Fa. Merck, Darmstadt
Harnstoff	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Kaliumchlorid	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Kaliumdihydrogenphosphat	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Natriumchlorid	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Natriumdihydrogenphosphat	Fa. Carl-Roth GmbH & Co, Karlsruhe
Natriummonofluorid (reinst)	Fa. Merck, Darmstadt
Natriumrhodanid	Fa. Fluka Chemie GmbH, CH-Buchs
Thymol	Fa. Synopharm GmbH & CoKG, Barsbüttel

### 9.2 Verbrauchsmaterialien

Palavit® G	Fa. Heraeus-Kulzer, Hanau
Elmex® Gelée	Fa. Gaba AG, Münchenstein, Schweiz
Tesa®	Fa. Beiersdorf, Hamburg

### 9.3 Geräte

Schleifmaschine	Fa. Struers GmbH, Willich
Künstlicher Mund	Van den Dungen, Ingenieurbüro f. Industrieelektronik, Freiburg
Software	Fa. Artidental, SynopsisLogic GbR, Uslar
Mikrohärtemessung Miniload,	Fa. Zeiss, Göttingen
Perthometer PRK	Fa. Mahr (Perthometer Concept 6.01), Göttingen

