

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
Direktor: Prof. Dr. med. dent. T. Attin

Arbeit unter der Leitung von PD Dr. med. dent. F.J. Wegehaupt

**Einfluss des Zinnchloridgehaltes einer AmF/NaF-Lösung auf
den Schmelzabtrag unter milden Erosionsbedingungen**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Michelle Baier

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin
Zürich 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung
2	Einleitung.....	1
3	Literaturübersicht	3
	3.1 Definition: Erosionen	3
	3.2 Ätiologie der Erosionen	3
	3.3 Lokalisation der Erosionen	5
	3.4 Prävention und Behandlung von dentalen Erosionen	5
	3.5 Fluorid zur Prävention und Behandlung von dentalen Erosionen	6
4	Versuchsplan.....	9
5	Material und Methoden	11
	5.1 Herstellung der Schmelzproben	11
	5.2 Herstellung der Lösungen für den künstlichen Mund	11
	5.3 Künstlicher Mund	12
	5.4 Erosion der Schmelzoberfläche im künstlichen Mund	13
	5.5 Remineralisation in künstlichem Speichel	13
	5.6 Bürstenabrasion	14
	5.7 Verwendung der Testspüllösungen	14
	5.8 Profilometrische Bestimmung des Substanzabtrages	14
	5.9 Messung von pH-Wert und Fluoridkonzentration der Testlösungen	15
	5.10 Statistische Auswertung	16
6	Ergebnisse.....	17
	6.1 Vergleich Schmelzabtrag zu Erosionszyklen	17
	6.2 Vergleich prozentualer Anteil an Kontrollgruppe mit Erosionszyklen	19
7	Diskussion	21
8	Schlussfolgerung.....	25
9	Literaturverzeichnis	26
10	Danksagung.....	30
11	Lebenslauf	31

1 Zusammenfassung

Ziel: Ziel dieser In-vitro-Untersuchung war es, das antierosive Potential verschiedener Fluoridspüllösungen bei unterschiedlich häufigen milden Erosionen (pH 4) zu bestimmen.

Material und Methode: Aus 24 Rinderzähnen wurden je drei Schmelzproben (A - C der Zähne 1 - 12 und D - F der Zähne 13 - 24) hergestellt. Anschliessend wurden die Proben der Zähne 1 - 12 auf die Gruppen 1 (Proben A) - 3 (Proben C) und die Proben der Zähne 13 - 24 auf die Gruppen 4 (Proben D) - 6 (Proben F) aufgeteilt und markiert. Für jede Probe wurde mittels Profilometrie ein Ausgangsprofil (Sollprofil) aufgezeichnet. Die Proben der Gruppen 1 - 3 wurden dann über 12 h hinweg 6 x 2 min und die Proben der Gruppen 4 - 6 9 x 2 min mit Salzsäure (pH 4) erodiert. Eine Stunde vor der ersten und eine Stunde nach der letzten Erosion wurden die Proben für 10 s mit gleichmässigem Druck (2.5 N) gebürstet. Anschliessend wurden die Proben der Gruppen 2 und 5 mit einer zinnchloridhaltigen AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz), die Proben der Gruppen 3 und 6 mit einer Lösung behandelt, die mit Ausnahme des Zinnchlorids identisch mit Elmex Erosionsschutz zusammengesetzt war (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell)), 1 min lang behandelt. Die Gruppen 1 und 4 dienten als Kontrollgruppen und wurden nicht behandelt. Anschliessend folgte ein 12 stündiger Remineralisationszyklus in künstlichem Speichel. Nach 10 Tagen dieses De- und Remineralisationszyklus inkl. Bürstenabrasion wurden erneut die Oberflächenprofile der Proben aufgezeichnet und anschliessend mit den Ausgangsprofilen verglichen.

Zur statistischen Auswertung wurden die Mittelwerte der Substanzabträge der normalverteilten Daten nach 10 Tagen De- und Remineralisationszyklus berechnet und mittels ANOVA und Post-hoc Test verglichen ($p < 0.05$).

Ergebnis: Innerhalb der einzelnen Erosionszyklen (6 x 2 min bzw. 9 x 2 min Erosion/Tag) wiesen die Gruppen 2 und 5 (Elmex Erosionsschutz) den geringsten Substanzabtrag auf ($0.11 \pm 0.05 \mu\text{m}$ bzw. $0.11 \pm 0.09 \mu\text{m}$). Die Abträge bei der Kontrollgruppe ($0.28 \pm 0.10 \mu\text{m}$ bzw. $0.57 \pm 0.27 \mu\text{m}$) wie auch bei den Gruppen 3 und 6 (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung) ($0.80 \pm 0.06 \mu\text{m}$ bzw. $1.15 \pm 0.10 \mu\text{m}$) waren signifikant grösser.

Schlussfolgerung: Elmex Erosionsschutz kann erfolgreich zur Prävention von Erosionen bei unterschiedlich häufigen milden Erosionen eingesetzt werden. Eine zinnchloridfreie Fluoridspüllösung (AmF/NaF) zeigte diese Schutzwirkung nicht.

2 Einleitung

Dentale Erosionen sind durch Säure und/oder Chelatoren verursachte Zahnhartsubstanzverluste, welche ohne die Mitbeteiligung von Mikroorganismen entstehen. Hierbei handelt es sich um einen pathologischen, oft chronisch verlaufenden Prozess, der zu einem schmerzfreien Abtrag von Zahnhartsubstanz führt. Die für die Erosion ursächliche Säure kann intrinsischen Ursprungs sein, aus der Nahrung stammen oder berufsbedingt auftreten. Daher wird zwischen intrinsischen und extrinsischen Erosionen unterschieden. Die für die extrinsischen Erosionen verantwortliche Säure stammt aus sauren Früchten, Fruchtsäften, sauren Softdrinks oder Medikamenten. Berufsbedingte extrinsische Erosionen betrafen früher vor allem Mitarbeiter der Metall- und Chemieindustrie und treten heute nur noch selten auf. Intrinsische Faktoren, die zur Entstehung von erosivem Zahnhartsubstanzverlust beitragen, sind u.a. häufiges Erbrechen bei Bulimia bzw. Anorexia nervosa und der Reflux von Magensäure.

Aufgrund des Fehlens einer einheitlichen Diagnosemethode und des häufig kombinierten Auftretens unterschiedlicher Zahnhartsubstanzverluste (Erosion mit Abrasion) gibt es nur wenige Studien zur Prävalenz von Erosionen. Die wenigen vorliegenden Studien weisen jedoch auf eine hohe Prävalenz in der Bevölkerung hin.

Zur Prävention von Erosionen werden in der Literatur unterschiedliche Strategien beschrieben. Einerseits wird versucht, das erosive Potential von Nahrungsmitteln, Getränken und Medikament zu reduzieren. Die Zugabe von Fluorid, verschiedenen Phosphatverbindungen, Proteinen und Ionenkombinationen in Softgetränken wurde untersucht und zeigte positive Resultate bezüglich der Verminderung des erosiven Potentials. Andererseits zielt man auf die Erhöhung der Säureresistenz der Zahnhartsubstanz ab. Dabei kommen meistens unterschiedliche Fluoride und Zinnchlorid zum Einsatz. Getestet wurden u.a. Aminfluorid, Natriumfluorid, Titanetrafluoride und Monofluorophosphate, Zinnchlorid. Ein grosser Nachteil dieser Studien ist es, dass meistens Säuren zum Einsatz kamen, die sehr niedrige pH-Werte aufwiesen. Solche pH-Werte werden unter physiologischen Bedingungen in der Mundhöhle jedoch nur selten erreicht. Daher lassen die Resultate dieser Studien nur bedingt auf die Vorgänge in der Mundhöhle schliessen.

Das Ziel dieser Studie war es daher, verschiedene Fluoridspüllösungen auf ihr anti-erosives Potential bei milden, den physiologischen Bedingungen entsprechenden, Erosionen (pH 4) zu testen.

3 Literaturübersicht

3.1 Definition: Erosionen

Unter dentalen Erosionen versteht man eine chemische Demineralisation der Zahnoberfläche durch Säuren und / oder Chelatoren. Diese oberflächlichen Zahnhartsubstanzverluste entstehen ohne die Mitbeteiligung von Mikroorganismen [Ten Cate und Imfeld, 1996; Pindborg, 1970; Zipkin und McClure, 1949]. Erosionen entstehen, wenn Säureattacken sich oft wiederholen und / oder über längere Zeit andauern [Wiegand und Attin, 2003; Meurman und Frank, 1991]. Durch Säure demineralisierte Zahnhartsubstanz zeigt in verschiedenen In-vitro- und In-situ-Studien eine Abnahme der Härte [Wiegand und Attin, 2003; Lussi und Hellwig, 2001; Attin et al., 1997]. Dadurch können andere Zahnhartsubstanzverluste, welche ohne die Beteiligung von Mikroorganismen entstehen, wie Abrasionen und Attritionen, nach einer Säureattacke grössere Schäden verursachen als ohne Demineralisation [Lussi und Jaeggi, 2002; Attin et al., 1997; Davis und Winter, 1980]. Obwohl dentale Erosionen häufig vorkommen, gibt es nur wenige Studien zu deren Prävalenz [Ganss et al., 2001; Nunn, 1996]. Da es keine einheitliche Diagnosemethode gibt und da oft verschiedene Zahnhartsubstanzdefekte, wie Erosionen und Abrasionen, kombiniert auftreten, ist eine solche Prävalenzstudie nur schwierig durchzuführen [Ganss et al., 2001; Eccles und Jenkins, 1974]. Eine Studie von Lussi et al. (1991) zeigte, dass 29,9% der 26 - 30-Jährigen und 42,6% der 46 - 50-Jährigen mindestens eine okklusale Erosion aufweisen. Dabei wiesen 8% der 26 - 30-Jährigen und 13% der 46 - 50-Jährigen auch faziale Erosionen auf [Lussi, 1996; Lussi et al., 1991]. Nach Jaeggi et al. (1999) weisen 30,7% der jungen Erwachsenen okklusale und 0,5% bukkale erosive Läsionen auf [Jaeggi et al., 1999].

3.2 Ätiologie der Erosionen

Für die Entstehung von Erosionen werden verschiedene Faktoren verantwortlich gemacht. Dabei wird zwischen intrinsischen und extrinsischen Faktoren unterschieden. Intrinsische Faktoren, die zur Entstehung von erosiven Schmelzverlust beitragen sind u.a. häufiges Erbrechen bei Bulimia- bzw. Anorexia nervosa und der Reflux von Magensäure. Zu den extrinsischen Faktoren gehören der häufige Konsum saurer Lebensmittel, die Anwendung saurer Medikamente sowie die berufsbedingte Säureexposition [Hellwig 2009; Attin, 1996; Ten Cate und Imfeld, 1996; Zero, 1996; Hanning, 1993; Jarvinen, 1991]. Zu den sauren Lebensmitteln zählen u.a. Zitrusfrüchte und Softgetränke.

Dabei wird die, in der Nahrung und Süssgetränken enthaltene Zitronensäure, als Hauptfaktor für Schmelzerosionen angesehen [Fuller, 1977].

Dem Speichel wird unter physiologischen Bedingungen eine Schutzfunktion gegenüber demineralisierenden Einflüssen zugeschrieben [Meurman und Ten Cate, 1996; Järvinen et al., 1988]. Unter physiologischen Bedingungen ist der Speichel eine mit Apatitmineralien übersättigte Lösung, welche das Herauslösen von Apatitbestandteilen aus dem Schmelz verhindert [Larsen, 1991]. Kommt es nun in Folge einer Säureattacke, z.B. durch saure Getränke, zu einer Senkung des pH-Wertes des Speichels, wird der Speichel zu einer an Apatitkristallen untersättigten Lösung. Dies führt zu einem Herauslösen von Kalzium und Phosphaten aus dem Schmelz und somit zur Entstehung von Schmelzerosionen [Attin, 1996]. Eine verringerte Speichelfliessrate, eine niedrige Pufferkapazität sowie der Zitrats- und Muzingehalt des Speichels sind weitere Faktoren, die zu einer verstärkten Entstehung von dentalen Erosionen beitragen können [Lussi et al., 2009; Järvinen, 1991; Shulman, 1948].

Das erosive Potenzial von Lebensmitteln wird durch deren chemischen Eigenschaften beeinflusst. Dabei sind der pH-Wert, die Pufferkapazität sowie die Anwesenheit von Chelatoren in der Säure entscheidend. Weiter spielen auch die Fluorid-, Kalzium- und Phosphatkonzentration eine wichtige Rolle [Lussi und Jaeggi, 2006; Lussi et al., 2005]. Je höher die Pufferkapazität einer Säure ist, desto länger braucht der Speichel bis er die vorhandene Säure neutralisieren kann [Lussi und Jaeggi 2006; Zero und Lussi, 2005]. Es wird vermutet, dass Chelatoren in der Säure, diese Kalziumionen binden und diese dadurch die Remineralisation der Zahnhartsubstanz verhindern [Lussi und Jaeggi, 2006]. Diese Vermutung konnte jedoch in einer systematischen Untersuchung von Azadi-Schossig et al. (2015) nicht bestätigt werden [Azadi-Schossig et al., 2015].

Bei der Entstehung von Erosionen durch Medikamente stehen vor allem solche mit niedrigem pH-Wert im Vordergrund. Hierzu zählen u.a. Vitamin C Präparate und die in Aspirin enthaltene Acetylsalicylsäure [Hannig, 1993]. Auch viele Speichelersatzmittel, welche bei der Behandlung von Xerostomiepatienten eingesetzt werden, weisen oft einen niedrigen pH-Wert auf und sind untersättigt an Kalzium-Phosphat in Bezug auf Hydroxyl-Apatit [Aykut-Yetkiner et al., 2013]. Hierbei ist besondere Vorsicht geboten, da es bei diesen Patienten, bedingt durch die erniedrigte Speichelfliessrate, deutlich länger dauert, bis die Säure neutralisiert wird [Ten Cate und Imfeld, 1996]. Nur in seltenen Fällen treten heute noch berufsbedingte Erosionen auf. Früher waren insbesondere Mitar-

beiter der Chemie- und Metallindustrie davon betroffen [Miller, 1907]. Des Weiteren besteht eine Korrelation zwischen häufigem Schwimmen in chloriertem Wasser und dem Auftreten von Schmelzerosionen [Centerwall, 1986].

3.3 Lokalisation der Erosionen

Die Lokalisation von Erosionsschäden ist nicht abhängig von Alter und Geschlecht der Betroffenen. Jedoch ist die Lokalisation abhängig von der Ätiologie der Erosion. Dabei muss zwischen intrinsischen und extrinsischen Erosionen unterschieden werden.

Intrinsische Erosionen

Bei Patienten mit häufigem Erbrechen, wie bei Bulimia bzw. Anorexia nervosa und bei Refluxpatienten, sind die erosiven Schmelzveränderungen häufig an den Palatinalflächen der Oberkieferfrontzähne lokalisiert. Im fortgeschrittenen Stadium können auch die Okklusalfächen der Seitenzähne betroffen sein [Hellwig, 2009; Imfeld und Imfeld, 2005].

Extrinsische Erosionen

Bei häufigem Konsum von sauren Nahrungsmitteln treten die Schmelzerosionen primär an den Bukkalflächen der Zähne im Oberkiefer auf.

Treten die Erosionen berufsbedingt auf, so sind primär die Labialflächen der Frontzähne betroffen [Hellwig, 2009].

3.4 Prävention und Behandlung von dentalen Erosionen

Grundsätzlich lassen sich zwei Strategien zur Prävention von Erosionen unterscheiden. Einerseits kann man die Resistenz der Zahnhartsubstanz gegenüber erosiven Einflüssen erhöhen und andererseits das erosive Potential von Getränken, Lebensmitteln oder Medikamenten vermindern [Ten Cate und Imfeld, 1996].

Die wichtigste und effektivste Methode zur Prävention von Erosionen ist es, die Frequenz und die Dauer des Kontaktes der Zahnhartsubstanz mit den erosiven Substanzen, wie zum Beispiel sauren Getränken, Früchten oder acetylsäurehaltigen Medikamenten, zu minimieren [Attin, 2000; Ten Cate und Imfeld, 1996]. Dabei kann die Anwendung eines Diättagebuches, über einen gewissen Zeitraum, sehr hilfreich sein. Bei Patienten, welche unter medikamentenbedingten Erosionen leiden, kann durch eine Modifikation des Arzneimittels, zum Beispiel durch Umschliessung des sauren Produkts

durch eine Kapsel, den dentalen Erosionen vorgebeugt werden. Kann auf den Genuss von Softgetränken nicht verzichtet werden, so können diese durch einen Strohhalm konsumiert werden, um den Kontakt der Säure mit den Zähnen zu reduzieren. Hierdurch wird der Kontakt der Zahnoberflächen mit dem säurehaltigen Getränk vermindert [Ten Cate und Imfeld, 1996]. Edwards et al. (1998) zeigten, dass mindestens eine Stunde nach dem Genuss von Softgetränken mit dem Zähneputzen gewartet werden soll. Dies soll den zusätzlichen Substanzverlust durch das Zähneputzen reduzieren [Edwards et al., 1998]. Im Gegensatz hierzu wiesen Attin et al. (2000) nach, dass auch nach einer Stunde Wartezeit, die vorher erodierten Proben grössere Abrasionsdefekte nach dem Putzen aufwiesen als die nicht erodierten Proben [Attin et al., 2000].

Eine weitere Möglichkeit zur Erosionsprophylaxe ist die Modifikation der erosiven Substanzen [Grenby, 1996]. So konnte gezeigt werden, dass sich das erosive Potential von Fruchtsäften durch die Zugabe von Fluorid reduzieren lässt. Auch andere Zusätze, wie verschiedene Phosphatverbindungen, Ionenkombinationen oder Proteine, wurden getestet und führten zu einer Verminderung des erosiven Potentials der so modifizierten Getränke [Magalhaes et al., 2009; Hemingway et al., 2008; Hooper et al., 2007; Attin et al., 2005; Larsen und Richards, 2002].

Die Applikation von unterschiedlichen Fluoriden auf die Schmelzoberfläche, zum Erhärten und zur Erhöhung der Säureresistenz der Zahnhartsubstanz, wurde schon in mehreren Studien untersucht. Die präventiven Ansätze zielen dabei darauf ab, die Säureresistenz des Schmelzes zu erhöhen und dadurch der Entstehung von Erosionen entgegen zu wirken [Wegehaupt, 2010 und 2009; Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008; Wiegand et al., 2008].

3.5 Fluorid zur Prävention und Behandlung von dentalen Erosionen

Neben der Veränderung der Ernährungsgewohnheiten und der Reduktion des erosiven Potentials von Lebensmitteln sind Fluoride in Zahnpasten, Spüllösungen und Gelen zur Prävention und Behandlung von dentalen Erosionen im Fokus der heutigen Fachliteratur. Über die Wirkung von fluoridierten Mundhygieneprodukten bei der Prävention und Behandlung von Schmelzerosionen wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert [Ganss et al., 2008].

Obwohl viele Mundhygieneprodukte einen niedrigen pH-Wert haben und somit theoretisch ein erosives Potenzial aufweisen, konnte in mehreren In-vitro-Studien gezeigt

werden, dass Produkte wie fluoridierte Zahnpasten und Spüllösung eine präventive Wirkung bezüglich der Entstehung von dentalen Erosionen zeigen. Einerseits führt ein niedriger pH-Wert zur Entwicklung von Erosionen, andererseits wird die Aufnahme und der Einbau von Fluorid in den Schmelzkristallen begünstigt und dadurch ein Kalziumfluoridpräzipitat an der Zahnoberfläche abgelagert. Dies wiederum führt dazu, dass nach einer Säure-attacke die Remineralisation verbessert wird [Lussi und Hellwig, 2001]. Munoz et al. (1999) zeigten, dass nach der Anwendung einer fluoridierten Zahnpasta eine Erhöhung der Schmelzhärte erreicht wird. Auch nach dem Konsum säurehaltiger Getränke, konnte durch den Gebrauch einer fluoridierten Zahnpasta, die Verminderung der Schmelzhärte reduziert werden [Munoz et al., 1999]. Bartlett et al. (1994) wiesen nach, dass durch das Zähneputzen mit einer fluoridierten Zahnpasta weniger Schmelz abgetragen wird als mit einer nicht fluoridierten Zahnpasta [Bartlett et al., 1994].

Auch fluoridierte Spüllösungen können zur Prävention von dentalen Erosionen eingesetzt werden. Dabei sind besonders zinnhaltige Spüllösungen von besonderer Bedeutung. Ganss et al. (2007) wiesen einen 90%igen Schutz des Schmelzes nach Behandlung mit einer zinnhaltigen Spüllösung nach [Ganss et al., 2007]. Schlueter et al. (2009) folgerten aus ihren Ergebnissen, dass zinnhaltige Spüllösungen eine effektive Methode in der Behandlung dentaler Erosionen sind [Schlueter et al., 2009]. Die Wirkungsweise zwischen Zinnfluorid und Schmelz ist noch nicht vollständig geklärt. Röntgenanalysen zeigten jedoch, dass die Reaktion von Zinnfluorid mit Hydroxyapatit zu einer Ablagerung von Zinn auf bzw. in Schmelz führt und dadurch der Schmelz vor Säureattacken geschützt wird [Babcock et al., 1978]. Die Verwendung von hochdosierten Fluoridpräparaten und die Anwendung über eine längere Zeitspanne kann das Fortschreiten von Erosionsschäden reduzieren und zur Prävention eingesetzt werden [Ganss et al., 2001; Attin et al., 1998]. Der Gebrauch von Zahnpasta in Kombination mit einem Fluoridgel und einer fluoridierten Spüllösungen führt zu einem verminderten Fortschreiten erosiver Läsionen im Schmelz [Ganss et al., 2001]. In den meisten Studien zu Elmex Erosionsschutz, wurde der pH-Wert, der für die Versuche verwendeten Säure, sehr niedrig gewählt (pH 2,3) [Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008]. Solch tiefe pH-Werte werden jedoch in der Mundhöhle unter physiologischen Bedingungen selten erreicht. Bei Lebensmitteln wie auch bei Erbrochenem von Bulimiepatienten sind die intraoral gemessenen pH-Werte deutlich höher (z.B. Apfelsaft: pH 3.4 oder Ice Tea lemon: pH 3.0) [Lussi und Carvalho, 2015; Milosevic et al., 1997; Imfeld und Lutz, 1985].

Somit war es das Ziel der vorliegenden Studie, zu untersuchen, ob die regelmässige Verwendung einer zinnchloridhaltigen AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) im Vergleich zu einer zinnchloridfreien AmF/NaF-Lösung (experimentell), zur Prävention und Behandlung bei regelmässigen milden Erosionen, wie sie bei Refluxpatienten auftreten, erfolgreich eingesetzt werden kann.

4 Versuchsplan

Aus 24 Rinderzähnen werden je drei Schmelzproben (A - C der Zähne 1 - 12 und D - F der Zähne 13 - 24) hergestellt. Anschliessend werden die Proben der Zähne 1 - 12 auf die Gruppen 1 (Proben A) - 3 (Proben C) und die Proben der Zähne 13 - 24 auf die Gruppen 4 (Proben D) - 6 (Proben F) aufgeteilt. Somit enthalten alle sechs Gruppen 12 Proben. Die Proben der Gruppen 1 - 3 werden über 12 h hinweg 6 x 2 min und die Proben der Gruppen 4 - 6 9 x 2 min mit Salzsäure (pH 4) erodiert. Mithilfe eines Profilometers wird anschliessend das Sollprofil erfasst. Pro Probe werden fünf Profile aufgezeichnet.

Anschliessend folgen 10 Tage De- und Remineralisationszyklus im künstlichen Mund. Die Proben der Gruppen 1 - 3 werden während 12 h pro Tag für 6 x 2 min und die Proben der Gruppen 4 - 6 für 9 x 2 min mit Salzsäure (pH 4) erodiert. In der Zwischenzeit fliesst künstlicher Speichel über die Proben. Nach dem Demineralisationszyklus folgt eine 12 stündige Remineralisation in künstlichem Speichel. Zusätzlich werden die Proben jeden Tag 1 h vor der ersten und 1 h nach der letzten Erosion für 10 s mit einer Schallzahnbürste ($F = 2.5 \text{ N}$) gebürstet. Nach dem Bürsten werden die Proben der Gruppen 2, 3, 5 und 6 mit Testlösungen für 1 min behandelt. Die Gruppen 1 und 4 dienen als Kontrollgruppen und bleiben unbehandelt. Die Proben der Gruppen 2 und 5 werden mit einer zinnchloridhaltigen AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) und die Proben der Gruppen 3 und 6 mit einer zinnchloridfreien AmF/NaF-Lösung (experimentell) behandelt.

Nach dem 10-tägigen De- und Remineralisationszyklus mit Bürsten werden erneut Oberflächenprofile aufgezeichnet und mit dem Sollprofil verglichen.

Zähne 1-12 drei Schmelzproben (A-C) pro Zahn			Zähne 13-24 drei Schmelzproben (D-F) pro Zahn		
Gruppe 1 (Proben A) (n=12)	Gruppe 2 (Proben B) (n=12)	Gruppe 3 (Proben C) (n=12)	Gruppe 4 (Proben D) (n=12)	Gruppe 5 (Proben E) (n=12)	Gruppe 6 (Proben F) (n=12)



1 Tag De-/Remineralisationszyklus → Erosion mit Salzsäure pH 4 über 12 h → in der Zwischenzeit und über Nacht Lagerung im künstlichen Speichel	
6 x 2 min Erosion	9 x 2 min Erosion



Aufzeichnen der Sollprofile



10 Tage De-/Remineralisationszyklus mit Bürsten → Erosion mit Salzsäure pH 4 verteilt über 12 h					
6 x 2 min Erosion			9 x 2 min Erosion		
→ in den Zwischenzeiten und über Nacht Lagerung in künstlichem Speichel → Bürsten für 10 s mit Schallzahnbürste (F= 2.5 N) je 1h vor der ersten und 1h nach der letzten Erosion → nach dem Bürsten Proben für 1 min in den folgenden Lösungen Einlegen					
-	zinnchloridhaltige AmF/NaF- Lösung (Elmex Erosi- onsschutz)	zinnchloridfreie AmF/NaF- Lösung (expe- rimentell)	-	zinnchloridhaltige AmF/NaF- Lösung (Elmex Erosi- onsschutz)	zinnchloridfreie AmF/NaF- Lösung (expe- rimentell)



Erneutes Aufzeichnen der Profile

Abb.1: Schematische Darstellung des Versuchsablaufes

5 Material und Methoden

5.1 Herstellung der Schmelzproben

Die 72 Schmelzproben wurden aus 24 bovinen Unterkieferfrontzähnen der zweiten Dentition hergestellt. Die extrahierten Frontzähne wurden vor der Verarbeitung in physiologischer Kochsalzlösung (0.9% NaCl-Lösung) aufbewahrt. Mit Hilfe eines diamantierten Trepanbohrers (Proxxon, Niersbach/Eifel, Deutschland) wurden aus jeder Zahnkrone drei Schmelzproben (Zähne 1 - 12: Proben A - C, Zähne 13 - 24: Proben D - F) mit einem Durchmesser von 4 mm herausgefräst. Direkt nach dem Herauslösen wurden die Proben so markiert, dass im Laufe des Versuches noch zu erkennen war, von welchem Zahn sie stammen. Anschliessend wurden die Schmelzproben in einer dafür vorgefertigten Silikonform in Kunststoff (Paladur, Heraeus-Kulzer, Hanau, Deutschland) eingebettet. Bei dem Kunststoff handelt es sich um einen schnellhärtenden, kaltpolymerisierenden Prothesenkunststoff, welcher auch ohne die Verwendung eines Druckpolymerisationsgerätes aushärtet. Zur Fixation beziehungsweise Stabilisation der Proben in der Haltevorrichtung des künstlichen Mundes wurde zusätzlich ein Rasterelektronenmikroskop-Träger (REM-Träger) auf der Rückseite der Proben mit eingebettet. Anschliessend wurden die Proben mit Hilfe eines Schwingschleifers und Schleifpapier (Struers, Waterproof Silicon Carbide Paper) absteigender Körnung (1200, 2400, 4000) unter Wasserkühlung auf die Höhe der Einbettmasse reduziert. Abschliessend wurden die Proben mit jeweils zwei Markierungen, sogenannten „Kratzer“, versehen. Diese Einkerbungen wurden mit Hilfe einer Hartmetallspitze, vom Zentrum der Schmelzprobe ausgehend, 2.5 mm links beziehungsweise rechts in den Kunststoff gekratzt. Diese „Kratzer“ im Kunststoff dienten der späteren Repositionierung der Profile bei der Profilometrie. Abschliessend wurden die Proben 1 der Gruppe A, die Proben B der Gruppe 2 usw. zugeteilt.

5.2 Herstellung der Lösungen für den künstlichen Mund

Für die Studie im künstlichen Mund (Eigenfabrikat, PPK, ZZM, Universität Zürich, Schweiz) wurden vier Lösungen benötigt. Für die erosiven Attacken wurde Salzsäure (HCl) eingesetzt. Um eine Salzsäurelösung mit pH-Wert 4 zu erhalten, wurde 1 ml einer 0.1 molaren Salzsäurelösung hundertfach mit destilliertem Wasser verdünnt. Um etwaige Fehler bei der Herstellung der Lösung zu eruieren, wurde die Lösung, unter Zuhilfenahme eines pH-Meters (PHLab, Metrohm AG, Herisau, Schweiz), im Anschluss der Herstellung auf ihren pH-Wert hin geprüft.

Für die Remineralisation nach Säureangriff und für die Lagerung der Proben zwischen den Zyklen und während der Nacht, wurde künstlicher Speichel verwendet. Dieser wurde nach der Rezeptur von Klimek et al. (1982) hergestellt. Die Zusammensetzung wurde, um eine mögliche mikrobielle Besiedlung bei längerer Aufbewahrung zu vermeiden, leicht modifiziert. Auf die Beimengung von Glucose wurde aus diesem Grund verzichtet.

Das antierosive Potenzial von Fluoridlösungen wurde anhand zwei unterschiedlicher Lösungen getestet. Zum einen wurde eine zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) (GABA International AG, Therwil, Schweiz) verwendet. Als Vergleichslösung wurde eine von der GABA speziell hergestellte Fluoridlösung (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell)) eingesetzt, deren Zusammensetzung, bis auf den Verzicht von Zinnchlorid, derjenigen der Elmex Erosionsschutz Spüllösung entspricht.

5.3 Künstlicher Mund

Die Versuche wurden in einem sogenannten künstlichen Mund (Eigenfabrikat, PPK, ZZM, Universität Zürich, Schweiz) vorgenommen. Das System arbeitet mit zwei Schlauchpumpen (IPC Serie, Ismatec, IDEX Health & Science SA, Glattbrugg, Schweiz), wobei die eine für die Zufuhr der Salzsäure und die andere für die Zufuhr des künstlichen Speichels verantwortlich war. Die Fliessgeschwindigkeit der einzelnen Flüssigkeiten (Salzsäure und künstlicher Speichel) wurde mit Hilfe eines Computerprogramms (Mouth, Eigenfabrikat, PPK, ZZM, Universität Zürich, Schweiz) unterschiedlich gewählt. Nach einer Säureattacke wurde die Fliessgeschwindigkeit des künstlichen Speichels erhöht. Damit konnte sichergestellt werden, dass nach einer Säureattacke, die restliche Säure auf den Proben möglichst schnell weggespült wird. Eine speziell für die Probengrösse hergestellte Haltevorrichtung mit Schlauchanschlüssen zu den zwei Pumpen und einem weiteren Schlauch für den Abtransport der Lösungen garantiert den reibungslosen Flüssigkeitsfluss über die einzelnen Proben hinweg. Der genaue Ablauf eines Zyklus wird über ein Computerprogramm (Mouth, Eigenfabrikat, PPK, ZZM, Universität Zürich, Schweiz) gesteuert.

5.4 Erosion der Schmelzoberfläche im künstlichen Mund

Für den Versuch wurden die Proben in 6 Gruppen aufgeteilt. Die Proben der einzelnen Gruppen wurden einer unterschiedlichen Anzahl von Erosionszyklen / 12 h ausgesetzt. Die Einteilung kann der unten stehenden Tabelle entnommen werden.

Gruppen	1 - 3	4 - 6
Erosionszyklen	6 x 2 min	9 x 2 min

Tab. 1: Einteilung der Gruppen nach Anzahl Erosionszyklen / 12 h

Die gesamte Erosionszeit pro Tag variierte somit in den verschiedenen Gruppen zwischen 12 min für die Gruppen 1 - 3 und 18 min für die Gruppen 4 - 6. Die gesamte Erosionszeit über 10 Tage hinweg beträgt demnach entweder 120 min für die Gruppen 1 - 3 oder 180 min für die Gruppen 4 - 6.

5.5 Remineralisation in künstlichem Speichel

In der Zeitspanne zwischen den einzelnen Säureattacken floss künstlicher Speichel über die Proben. Die Dauer eines einzelnen Remineralisationszyklusses zwischen zwei Erosionen kann der untenstehenden Tabelle entnommen werden.

Gruppen	1 - 3	4 - 6
Remineralisationszyklus	1 h 54 min	1 h 11 min

Tab. 2: Dauer der Remineralisation zwischen den einzelnen Säureattacken innerhalb des 12-stündigen Remineralisationszyklusses.

Nach dem Remineralisationszyklus folgte ein 12-stündiger Remineralisationszyklus. Die Proben wurden dabei während 12 h in künstlichem Speichel gelagert. In dieser Zeit fanden keine Säureattacken statt.

5.6 Bürstenabrasion

Die Proben wurden jeweils 1 h vor der ersten und 1 h nach der letzten Erosion gebürstet. Das Bürsten wurde mit einer elektrischen Schallzahnbürste (Sensonic Professional Schallzahnbürste, Waterpik, Bensheim, Deutschland) vollzogen. Durch eine standardisierte Auflagerung des Bürstenkopfes auf die Proben wurde ein gleichmässiger Druck von 2.5 N erreicht. Die Proben wurden je 10 s gebürstet. Die Proben wurden während des Bürstvorgangs mit Leitungswasser befeuchtet.

5.7 Verwendung der Testspüllösungen

Nach dem Bürsten wurden die Proben für 60 s in jeweils eine der zwei Testlösungen eingelegt. Die Behandlung der Gruppen mit den Testlösungen ist aus der untenstehenden Tabelle ersichtlich.

Gruppe	1	2	3	4	5	6
Lösung	-	EG	FG	-	EG	FG

Tab. 3: Verwendung der Testlösungen in den unterschiedlichen Gruppen; EG: zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) (EG: Elmex-gruppe), FG: zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (FG: Fluoridgruppe). Die Gruppen 1 und 4 dienen als Kontrollgruppen und blieben unbehandelt.

5.8 Profilometrische Bestimmung des Substanzabtrages

Zur Bestimmung des erosiv/abrasiven Schmelzverlusts wurde die Methode der Profilometrie angewendet. Die Profilometrie dient der taktilen Registrierung von Oberflächen. Dabei wird mit Hilfe eines Diamantstiftes, dem sogenannten Tastarm, die Oberfläche abgetastet und Höhenänderungen aufgezeichnet. Pro Probe wurden eine Basismessung (nach einem Tag De-/ Remineralisationszyklus) und eine erneute Aufzeichnung der Profile nach der 10-tägigen De-/Remineralisation durch Salzsäure, Bürsten und dem Einsatz von Fluoridspüllösungen vorgenommen. Mit Hilfe dieses Verfahrens lässt sich der Substanzverlust durch Überlagerung der einzelnen Profile einer Probe bestimmen. Für die Profilometrie wurde das Penthometer S2 Vorschubgerät GD25 Tastarm MFW-250 (Mahr, Göttingen, Deutschland) benutzt. Als Tastarm verwendet die Apparatur eine Diamantspitze mit einem Durchmesser von 2 µm. Der Tastarm bewegt sich in einer genau definierten Geschwindigkeit (0.5 mm/s) horizontal über die Probe und re-

gistriert mit einer Genauigkeit von 10 nm die vertikale Dimension der Probenoberfläche. In einem Durchgang werden pro Probe fünf Profile aufgezeichnet. Diese Profile sind bei einer erneuten Aufzeichnung exakt an der gleichen Stelle wie bei der vorhergegangenen Messung. Der Abstand zwischen den Profilen wurde auf 250 µm eingestellt und die gesamte Messstrecke umfasste 7.5 mm. Die Einkerbungen an den Seiten der Proben dienten der späteren Überlagerung der Profile. Somit konnte die Zuordnung der Profile bei mehreren Messungen gewährleistet werden.

Visualisiert und ausgewertet wurden die Messungen durch ein Computerprogramm (Eigenfabrikat, PPK, ZZM, Universität Zürich, Schweiz). Verglichen wurde immer das Sollprofil (nach 1 Tag De-/Remineralisationszyklus ohne Bürsten und ohne Fluoridapplikation) mit dem Profil, welches nach zehn Tagen De-/Remineralisationszyklus mit Bürsten und Fluoridapplikation aufgezeichnet wurde. Die Differenz dieser zwei Profile ergab den jeweiligen Schmelzabtrag.

5.9 Messung von pH-Wert und Fluoridkonzentration der Testlösungen

Die Messung von pH-Wert und Fluoridionenkonzentration der zwei verschiedenen Testlösungen (zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) und eine zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell)) ergab folgende Werte:

	pH-Wert	Fluoridionenkonzentration (F ⁻)
zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) (EG:Elmexgruppe)	4.44	465 ppm
zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell) (FG:Fluoridgruppe)	5.04	520 ppm

Tab 4: pH-Werte und Fluoridionenkonzentrationen der verschiedenen Testlösungen

5.10 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in Excel kodiert und mit SPSS Version 22 analysiert. Für die deskriptiven Statistiken wurden die folgenden Parameter berechnet: Mittelwert, Standardabweichung, Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum. Die Annahme der Normalverteilung der Daten wurde mit Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Tests überprüft. Für den Unterschied zwischen Erosionszyklen (6 x 2 min und 9 x 2 min Erosionsattacken pro Tag) für jede Abtragvariable (Abtrag in μm bei 6 und 9 Zyklen pro 12 Stunden) separat wurde der Zwei-Stichproben-T-Test angewandt.

Für die annähernd normalverteilten Variablen innerhalb der Erosionszyklen (6 oder 9) wurde eine ANOVA mit der Greenhouse-Geisser-Korrektur und einem geeigneten Posthoc-Test durchgeführt.

Die Abträge in der Fluoridgruppe bzw. der Elmexgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe bei 6 x 2 min und 9 x 2 min Erosion pro Tag, ausgerechnet in Prozent, ergaben die Prozentvariablen EProz (Abtrag in Prozent der Kontrolle für die Elmexgruppe) und FProz (Abtrag in Prozent der Kontrolle für die Fluoridgruppe). Für diese Prozentvariablen (EProz und FProz), die eine Abweichung von der Annahme der Normalverteilung aufweisen, wurde der Mann-Whitney-Test für den Unterschied zwischen Erosionszyklen durchgeführt. Innerhalb der gleichen Anzahl an erosiven Zyklen pro Tag, für den Unterschied zwischen EProz und FProz, wurde der gepaarte Wilcoxon-Test angewandt. Ergebnisse der statistischen Analysen mit einem p-Wert kleiner als 0.05 wurden als statistisch signifikant interpretiert.

6 Ergebnisse

6.1 Vergleich Schmelzabtrag zu Erosionszyklen

In der unten stehenden Abbildung ist der durchschnittliche Schmelzabtrag (Mittelwert \pm SD) der verschiedenen Gruppen (Kontroll-, Fluorid- und Elmexgruppe) nach 10 Tagen bei unterschiedlich häufigen Säureattacken (6 x 2 min und 9 x 2 min/Tag) dargestellt.

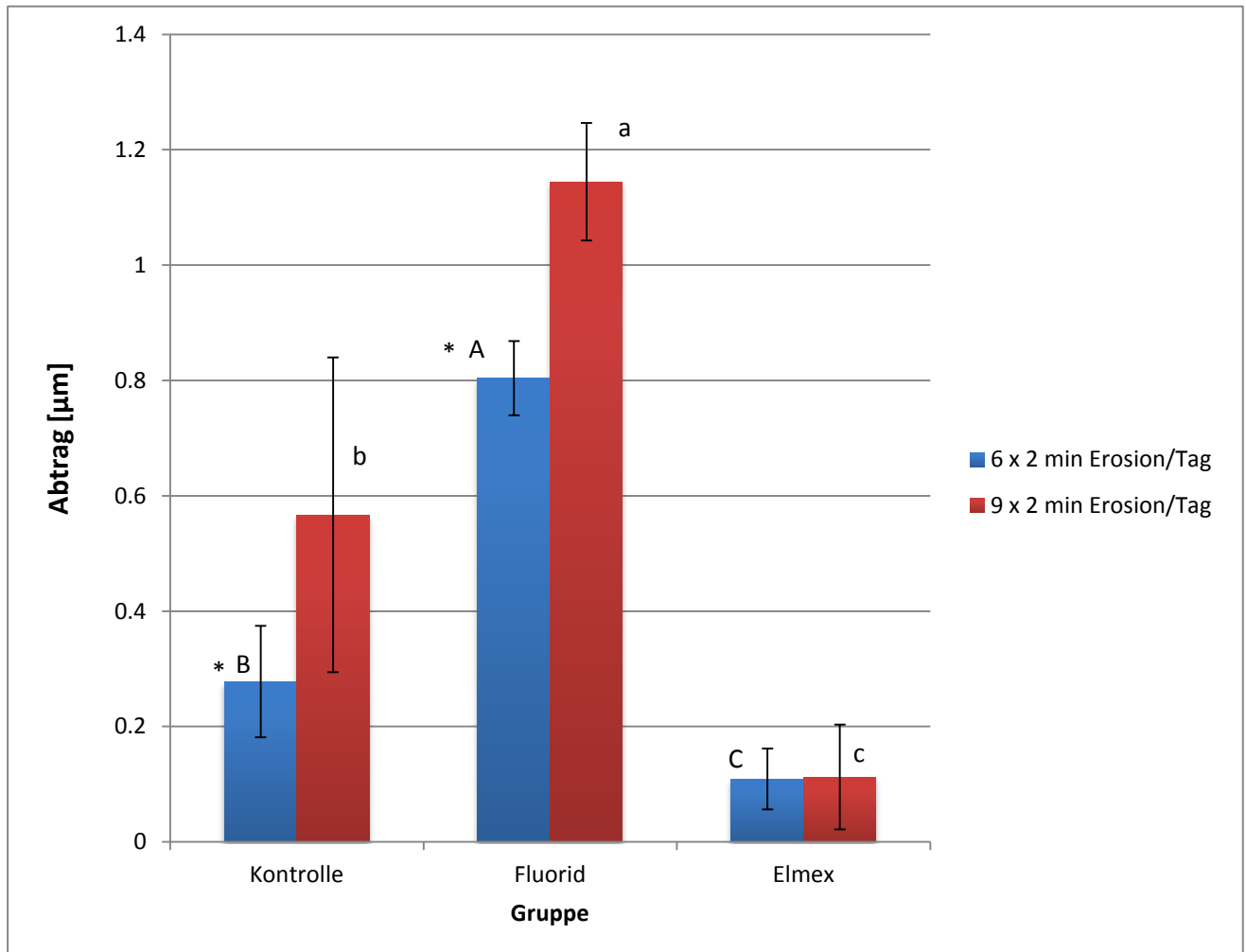


Abb. 2: Schmelzabtrag (μm) nach unterschiedlich häufigen Säurebelastungen (6 x 2 min und 9 x 2 min/Tag) für die Kontroll-, Fluorid- und Elmexgruppe. Elmex: zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz); Fluorid: zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell). Innerhalb der einzelnen Gruppen (Kontroll-, Fluorid- und Elmexgruppe) und den unterschiedlich häufigen Säureattacken (6 x 2 min/Tag und 9 x 2 min/Tag) wurden signifikante Unterschiede mit * markiert. Signifikante Unterschiede der einzelnen Gruppen (Kontroll-, Fluorid- und Elmex-gruppe) innerhalb des gleichen Erosionszyklusses (6 x 2 min/Tag oder 9 x 2 min/Tag) wurden mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

Gruppe	Abtrag bei 6 x 2 min	Abtrag bei 9 x 2 min
Kontrollgruppe	0.28 ± 0.10 µm	0.57 ± 0.27 µm
Fluoridgruppe (FG) (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell))	0.80 ± 0.06 µm	1.15 ± 0.10 µm
Elmexgruppe (EG) (zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz))	0.11 ± 0.05 µm	0.11 ± 0.09 µm

Tab. 5: Mittelwerte der Abträge und deren Standardabweichungen der einzelnen Gruppen (Kontroll-, Fluorid- und Elmexgruppe) bei unterschiedlich häufigen Säureattacken (6 x 2 min und 9 x 2 min/Tag).

Nach 10 Zyklen mit insgesamt 120 min Erosion (d.h. 6 x 2 min/Tag, Gruppen 1 - 3) wies die Fluoridgruppe den grössten Schmelzabtrag auf. Im Vergleich zu dieser wurde bei der Elmexgruppe und der Kontrollgruppe einen signifikant geringerer Schmelzverlust ($p < 0.0001$) beobachtet. Des Weiteren zeigte die Elmexgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikant geringeren Schmelzabtrag ($p < 0.0001$).

In den Gruppen mit 180 min Erosion (d.h. 9 x 2 min/Tag, Gruppen 4 - 6) zeigte wiederum die Fluoridgruppe den grössten Schmelzabtrag. Die Kontrollgruppe wie auch die Elmexgruppe wiesen einen signifikant geringeren Schmelzverlust auf ($p < 0.0001$). Verglichen mit der Kontrollgruppe war der Abtrag von Schmelz in der Elmexgruppe signifikant geringer ($p < 0.0001$).

Beim Vergleich der einzelnen Gruppen (Kontroll-, Fluorid- und Elmexgruppe) innerhalb der Erosionszyklen (6 x 2 min und 9 x 2 min) wies die Kontrollgruppe bei 6 x 2 min Erosion pro Zyklus einen signifikant geringeren Schmelzabtrag ($p < 0.05$) auf als bei 9 x 2 min. Auch für die Fluoridgruppe zeigte sich bei 6 x 2 min ein signifikant geringerer Schmelzabtrag ($p > 0.05$) im Vergleich zu 9 x 2 min Erosion pro Tag. Anders verhielt es sich bei der Elmexgruppe. Hierbei konnte kein signifikanter Unterschied ($p > 0.05$) zwischen den Gruppen nach 6 x 2 min und 9 x 2 min Säurebelastung pro Zyklus festgestellt werden.

6.2 Vergleich prozentualer Anteil an Kontrollgruppe mit Erosionszyklen

Weiter wurde der Abtrag in Prozent der entsprechenden Kontrollgruppe der Elmex- und der Fluoridgruppe bei 6 x 2 min und 9 x 2 min Erosion miteinander verglichen. Die Resultate sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

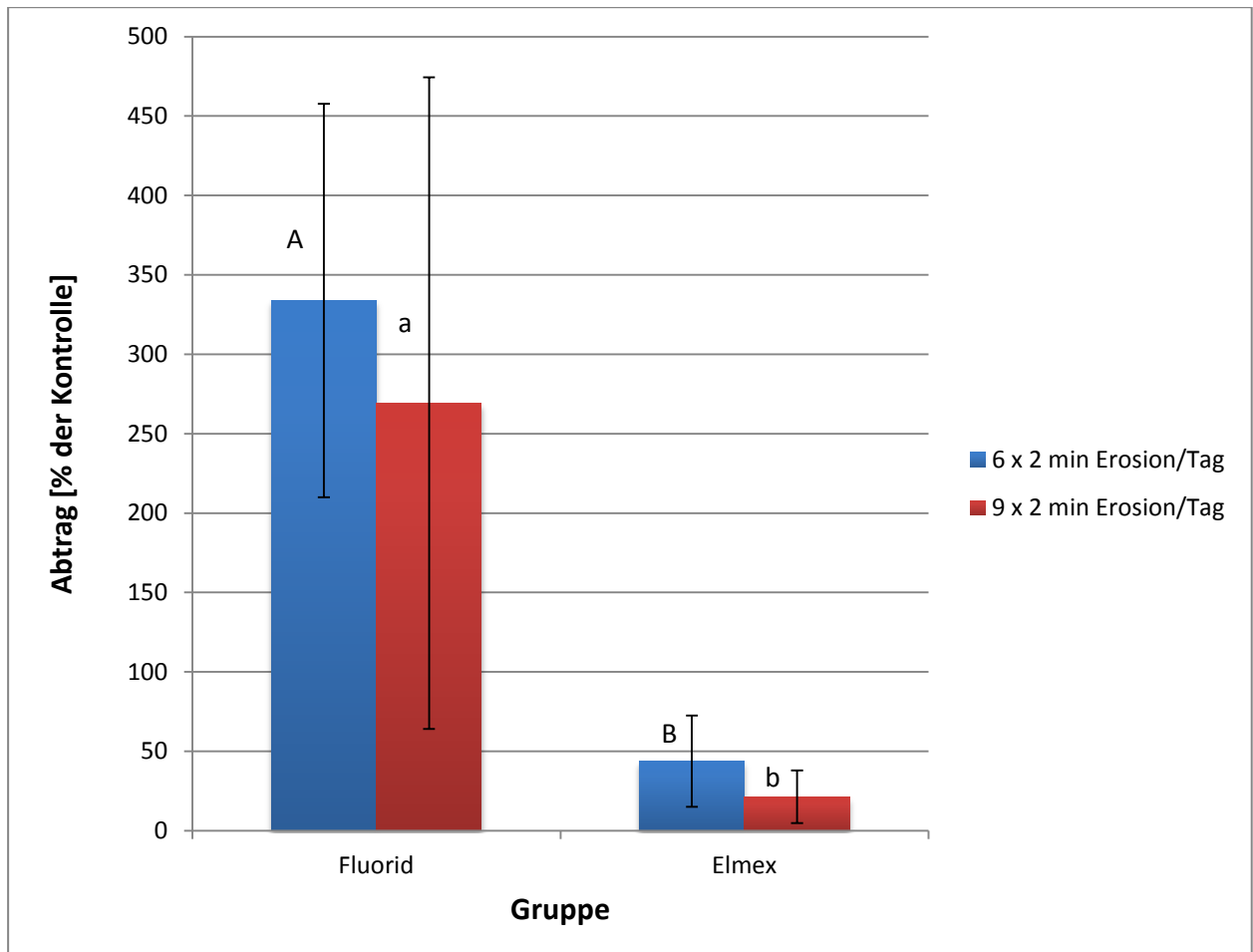


Abb. 3: Balkendiagramm zum Vergleich von prozentualer Anteil der Fluoridgruppe (FProz) bzw. Elmexgruppe (EProz) an der Kontrollgruppe und den unterschiedlichen Erosionszyklen (6 x 2 min/Tag und 9 x 2 min/Tag). Elmex: zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz); Fluorid: zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell). Signifikante Unterschiede der einzelnen Gruppen (Fluorid- und Elmexgruppe) innerhalb des gleichen Erosionszykluses (6 x 2 min oder 9 x 2 min/Tag) wurden mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

Gruppe	Abtrag [% der Kontrolle] bei 6 x 2 min	Abtrag [% der Kontrolle] bei 9 x 2 min
Fluoridgruppe (FG) (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell))	333.89 ± 123.87	269.24 ± 205.13
Elmexgruppe (EG) (zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz))	43.84 ± 28.75	21.29 ± 16.57

Tab. 6: Abtrag in Prozent der Fluoridgruppe bzw. Elmexgruppe an der Kontrollgruppe und den unterschiedlichen Erosionszyklen (6 x 2 min/Tag und 9 x 2 min/Tag).

Es konnte bei der Fluorid- wie auch bei der Elmexgruppe kein signifikanter Unterschied zwischen den Erosionszyklen (6 x 2 min und 9 x 2 min/Tag) festgestellt werden. Innerhalb der Erosionszyklen (6 x 2 min oder 9 x 2 min/Tag) war der Abtrag in Prozent der Kontrollgruppe für die Fluoridlösung signifikant höher als in der Elmexgruppe ($p < 0.05$).

7 Diskussion

Für die vorliegende Studie wurden Schmelzproben von Rinderunterkieferfrontzähnen verwendet. Diese wurden in diversen Studien eingesetzt [Wiegand et al., 2006; Attin et al., 2003]. Ein grosser Vorteil der Rinderzähne ist es, dass diese nicht durch äussere Faktoren modifiziert werden. Dadurch verfügen sie über einen gleichmässigeren Aufbau als humane Zähne. Meurman und Frank (1991) zeigten, dass sich erosive Vorgänge auf Rinderschmelz kaum von denen auf humanen Zahnschmelz unterscheiden [Meurman und Frank, 1991]. Jedoch muss beachtet werden, dass erodierter boviner Schmelz anfälliger gegenüber Abrasion ist als erodierter humaner Schmelz [Attin et al., 2007]. In vielen anderen Studien wurden humane Schmelzproben verwendet [Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008; Eisenburger et al., 2001; Ganss et al., 2001; Larsen, 2001].

In dieser Untersuchung kam der von der Universität Zürich hergestellte künstliche Mund zum Einsatz. Dies diente der Simulation eines möglichst realitätsgetreuen Tagesablaufs. Dabei wurden die Proben während 12 h einem Demineralisationszyklus und unterschiedlich häufigen milden Erosionen ausgesetzt. Um Differenzen bezüglich unterschiedlich häufiger Säureattacken zu eruieren, wurden die Hälfte der Proben 6 x 2 min erodiert, während die andere Hälfte der Proben 9 x 2 min erodiert wurden. Die Proben wurden 1 h vor und 1 h nach der letzten Säureattacke gebürstet. Dies diente einerseits dazu, die Alltagssituation eines Patienten nachzustellen, der sich zwei Mal am Tag die Zähne putzt. Nach dem Bürsten (2 x pro Tag) wurde ein Teil der Proben mit Testlösungen behandelt. Dafür wurde eine zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz) (Elmexgruppe) und eine zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell) (Fluoridgruppe) verwendet. Fluoridierte Spüllösungen zeigten in verschiedenen Studien positive Resultate bezüglich der Erhöhung der Säureresistenz des Schmelzes [Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008; Amaechi und Higham, 2001; Sorvari et al., 1994]. Weiter konnte nachgewiesen werden, dass Fluorid zusätzlich vor Abrasion schützt, indem das Erweichen des Schmelzes vermindert wird [Lagerweij et al., 2006]. Zinnhaltige Spüllösungen erwiesen sich als effektiv in der Prävention von dentalen Erosionen [Schlueter et al., 2009]. Lagerweij et al. (2006) kamen in ihrer Studie zum Schluss, dass eine zweimalige Applikation eines Fluoridgels zu einer Reduktion des Schmelzverlustes nach Säureattacken führt. Eine achtfache Anwendung zeigte noch bessere Resultate. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass ein hochdosiertes Fluoridgel (12500 ppm)

zu Anwendung kam und dass mit einer starken Säure (pH 2.3) gearbeitet wurde [Lagerweij et al., 2006].

Nach dem Demineralisationszyklus folgte ein 12 stündiger Remineralisationszyklus. Dies diente der Simulation einer Nachtsituation. In dieser Zeit ist der Patient frei von Säureattacken und die potenzielle Remineralisation durch den Speichel wird somit ermöglicht. Eisenburger et al. (2001) zeigten in ihrer Studie, dass die Remineralisation nach 6 h abgeschlossen ist und somit erweichte Zahnhartsubstanz wieder erhärtet wird. Dadurch kann der abrasive Abtrag, welcher z.B. durch Bürsten entsteht, vermindert werden [Eisenburger et al., 2001]. Andererseits wiesen Ganss et al. (2007) nach, dass der Remineralisationszyklus nur einen kleinen Effekt auf den erosiv abrasiven Zahnhartsubstanzverlust hat [Ganss et al., 2007].

Die Proben wurden mit Salzsäure erodiert. In anderen Studien fand für derartige Versuche meist Zitronensäure Verwendung [Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008, Eisenburger et al., 2001].

Der pH-Wert wurde so gewählt, dass dieser den physiologischen Bedingungen (unter Säurebelastung) in der Mundhöhle gleicht, aber trotzdem noch genügend Abtrag stattfand, um diesen mit der Profilometrie zu bestimmen. In anderen Studien wurde mit deutlich niedrigerem pH-Wert gearbeitet [Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008; Lagerweij et al., 2006; Eisenburger et al., 2001; Ganss et al., 2001; Bartlett et al., 1994]. Ganss et al. (2008) sowie Schlueter et al. (2009) arbeiten bei ihren Versuchen mit Zitronensäure pH 2.3. Dieser pH-Wert ist sehr niedrig und wird unter physiologischen Bedingungen in der Mundhöhle kaum erreicht [Schlueter et al., 2009; Ganss et al., 2008]. Lussi und Carvalho (2015) listeten unterschiedliche Softgetränke und die jeweilig dazugehörenden pH-Werte auf. Nur wenige Getränke wiesen dabei einen pH-Wert < 3 auf [Lussi und Carvalho, 2015]. Durch die neutralisierende Wirkung des Speichels dürfte der resultierende pH-Wert in der Mundhöhle noch höher liegen. Obwohl Studien zu Erbrochenem von Bulimiepatienten pH-Werte von 2.9-5.0 nachwiesen [Milosevic et al. 1997; Imfeld und Lutz, 1985], konnte in der Mundhöhle nur eine Senkung des pH-Wertes bis auf 4 nachgewiesen werden [Jensdottir et al., 2004]. Der pH-Wert ist jedoch nur ein Indikator für die Bestimmung der Erosivität eines Agens [Lussi und Jaeggi, 2001]. Die Pufferkapazität, der Fluorid-, Kalzium- und Phosphatgehalt sowie die Viskosität sind weitere beeinflussende Faktoren [Aykut-Yetkiner et al., 2013]

Die Profilometrie zur Bestimmung von erosivem Zahnhartsubstanzverlust wurde schon in anderen Studien [Schlueter et al., 2009; Lagerweij et al., 2006; Eisenbruger et al., 2001] zur Bestimmung des erosiven Abtrags angewendet. Andere Studien verwendeten dafür die Elektronenmikroskopie [Ganss et al., 2008]. Um die Frequenz und die Dauer der Säureattacken nicht zu hoch anzusetzen und den pH-Wert im physiologischen Bereich zu halten, wurde ein Zeitintervall von zehn Tagen gewählt. In diesem Falle konnte ein ausreichender Abtrag erreicht werden um diesen profilometrisch zu bestimmen.

In der vorliegenden Studie wies die Fluoridgruppe (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung (experimentell)) den grössten Schmelzabtrag auf. Bei dieser Spüllösung wurde kein Zinnchlorid zugefügt und die Lösung entsprach dadurch einer Natrium- und Aminfluoridlösung. Da diese Spüllösung einen pH-Wert von 5.04 aufwies und damit unter diesen milden Versuchsbedingungen selbst erosiv wirkt, wurde bei der Fluoridgruppe einen höheren Abtrag gemessen als bei der Kontrollgruppe. Bei der Kontrollgruppe fielen diesen zusätzlichen erosiven Attacken weg. In einer Studie von Ganss et al. (2008) wies die AmF/NaF-Gruppe eine 57%ige Reduktion im Vergleich zur Kontrollgruppe auf. Der Gesamtabtrag war jedoch bei der Kontrollgruppe, wie auch bei der AmF/NaF-Gruppe, deutlich höher als in der vorliegenden Studie. Dies lässt sich damit erklären, dass in der vorliegenden Studie für die erosiven Attacken mit einem deutlich höheren pH-Wert (pH 4) gearbeitet wurde. In der Studie von Ganss et al. (2008) wurde Zitronensäure mit einem pH-Wert von 2.3 verwendet. Durch diesen niedrig gewählten pH-Wert konnte sich an der Schmelzoberfläche mehr CaF bilden und dies wirkte sich schützend auf die Schmelzoberfläche bei erosiven Attacken aus. Bei der vorliegenden Studie wurde ein höherer pH-Wert (pH 4) gewählt und somit konnte sich auf der Schmelzoberfläche nur wenig CaF bilden. Dadurch entfällt die Schutzwirkung des Calciumfluorids auf den Schmelz. Hiermit kann die Diskrepanz zwischen der Studie von Ganss et al. (2008) und der vorliegenden Studie erklärt werden. Die Elmexgruppe wies den geringsten Abtrag auf. In der Untersuchung von Ganss et al. (2008) zeigte auch die Zinnchloridgruppe den geringsten Abtrag [Ganss et al., 2008].

Innerhalb der Erosionszyklen (6 x 2 min und 9 x 2 min Erosion/Tag) zeigten sich bei der Kontrollgruppe wie auch bei der Fluoridgruppe bei 6 x 2 min Erosion/Tag deutlich geringere Substanzabträge als bei 9 x 2 min Erosion/Tag. Dies war so zu erwarten und lässt sich dadurch erklären, dass die Gesamterosionszeit bei 6 x 2 min. Erosion/Tag, d.h. 120 min Gesamterosionszeit deutlich geringer ist (33% kürzer) als bei 9 x 2 min Erosion/Tag, d.h. 180 min Gesamterosionszeit. Bei der Elmexgruppe (zinnchloridhaltige

AmF/NaF-Lösung (Elmex Erosionsschutz)) konnte hingegen keine Differenz zwischen den unterschiedlichen Erosionszyklen nachgewiesen werden. Daraus lässt sich folgern, dass die protektive Wirkung von Elmex Erosionsschutz auch bei zunehmender Frequenz der Säureattacken erhalten bleibt. Elmex Erosionsschutz kann somit auch bei regelmässigen milden Erosionen (pH4), wie diese bei Reflux auftreten, angewendet werden. Eine herkömmliche Fluoridspüllösung (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung) zeigte hingegen keine Schutzwirkung bei regelmässigen milden Erosionen.

8 Schlussfolgerung

Elmex Erosionsschutz (zinnchloridhaltige AmF/NaF-Lösung) kann erfolgreich zur Prävention von Erosionen bei unterschiedlich häufigen milden Erosionen, wie diese bei Refluxpatienten vorkommen, eingesetzt werden. Eine herkömmliche Fluoridspüllösung (zinnchloridfreie AmF/NaF-Lösung) zeigte diese Schutzwirkung nicht.

9 Literaturverzeichnis

- Attin T, Hilgers RD, Hellwig E: Einfluss von Muzin im Speichel auf die Entstehung von Schmelzerosionen. *Deutsch Zahnärztl Z* 1996; 51: 241-245.
- Attin T, Koidl U, Buchalla W, Schaller HG, Kielbassa AM, Hellwig E: Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. *Arch Oral Biol* 1997; 42: 243-250.
- Attin T, Deifuss H, Hellwig E: Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions, *Caries Res* 1998; 32: 135-139.
- 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, Weiss K, Becker K, Buchalla W, Wiegand A: Impact of modified acidic soft drinks on enamel erosion. *Oral Dis* 2005; 11: 7-12.
- Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A: The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments. *J Dent* 2007; 35: 773-777.
- Aykut-Yektiner A, Wiegand A, Bollhalder A, Becker K, Attin T: Effect of acidic solution viscosity on enamel erosion. *J Dent Res* 2013; 92: 289-294.
- Azadi-Schossig P, Becker K, Attin T: Chelating effect of citric acid is negligible for development of enamel erosions. *Clin Oral Invest* 2015; 1-11.
- Babcock FD, King JC, Jordan TH: The reaction of stannous fluoride and hydroxyapatite. *J Dent Res* 1978; 57: 933-938.
- Barbakow F, Sener B, Lutz F: Dissolution of phosphorus from human enamel pretreated invitro using SnF₂ stabilized with amine fluoride 297. *Clin Prev Dent* 1987; 9: 3-6.
- Bartlett DW, Smith BGN, Wilson RF: 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.
- Centerwall BS, Armstrong CW, Funkhouser L, Elzay R: Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool. *Am J Epidemiol* 1986; 123: 641-647.
- Davis WB, Winter PJ: Dietary erosion of adult dentine and enamel. Protection with fluoride toothpaste. *Br Dent J* 1977; 143: 116-119.
- Eccles JD, Jenkins WG: Dental Erosion and diet. *J Dent* 1974; 2: 153-159.
- Edwards M, Ashwood RA, Littlewood SJ, Brocklebank LM, Fung DE: A videofluoroscopic comparison of straw and cup drinking: The potential influence on dental erosion. *Br Dent J* 1998; 185: 244-249.
- Fuller JL, Johnson WW: Citric acid consumption and the human dentition. *J Am Dent Ass* 1977; 95: 80-84.
- Ganss C, Klimek J, Schäffer U, Spall T: Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro. *Caries Res* 2001; 35: 325-330.

- Ganss C, Schlueter N, Friedrich D, Klimek J: Efficacy of waiting periods and topical fluoride treatment on toothbrush abrasion of eroded enamel in situ. *Caries Res* 2007; 41: 146-151.
- Ganss C, Schlueter N, Hardt M, Schattenberg P, Klimek J: Effect of fluoride compounds on enamel erosion in vitro: a comparison of amine, sodium and stannous fluorid. *Caries Res* 2008; 42: 2-7.
- Grenby TH: Lessening dental erosive potential by product modification. *Eur J Oral Sci* 1996; 104 : 221-228.
- Hannig M: Mikromorphologische Veränderungen an der Schmelzoberfläche durch verschiedene Säuren. *Zahnärztl Welt* 1993; 102: 604-611.
- Hemingway CA, Shellis RP, Parker DM, Addy M, Barbour ME: Inhibition of hydroxyapatite dissolution by ovalbumin as a function of pH, calcium concentration, protein concentration and acid type. *Caries Res* 2008; 42: 348-353.
- Hooper S, Hughes J, Parker D, Finke M, Newcombe RG, Addy M, West N: A clinical study in situ to assess the effect of a food approved polymer on the erosion potential of drinks. *J Dent* 2007; 35: 541-546.
- Imfeld T, Lutz F: Chronic regurgitation: continuous pH recording of oral fluid. *J Dent Res* 1985; 64: 365.
- Imfeld T: Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 151-155.
- Imfeld C, Imfeld T : Essstörungen (II) : Zahnmedizinische Aspekte. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2005; 115: 1163-1171.
- Jaeggi T, Schaffner M, Bürgin W, Lussi A: Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1999; 109: 1171-1178.
- Järvinen V, Meurman JH, Hyvärinen H, Rytömaa I, Murtomaa H: Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1988; 65: 298-303.
- Järvinen VK, Rytömaa II, Heinonen OP: Risk factors in dental erosion. *J. Dent Res* 1991; 70: 942-947.
- Jensdottir T, Arnadottir IB, Thorsdottir I, Bardow A, Gudmundsson K, Theodors A, Holbrook WP: Relationship between dental erosion, soft drink consumption, and gastroesophageal reflux among icelanders. *Clin Oral Invest* 2004; 8: 91-96.
- Lagerweij MD, Buchalla W, Kohnke S, Becker K, Lennon AM, Attin T: Prevention of erosion and abrasion by a high fluoride concentration gel applied at high frequencies. *Caries Res* 2006; 40: 148-153.
- Larsen MJ: On the chemical and physical nature of erosions and caries lesions in dental enamel. *Caries Res* 1991; 25: 323-329.
- Larsen MJ, Richards A: Fluoride is unable to reduce dental erosion from soft drinks. *Caries Res* 2002; 36: 75-80.
- Lussi A, Jaeggi T: Das erosive Potenzial verschiedener Zahnpflegeprodukte im Vergleich zu Nahrungsmitteln und Getränken. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2001; 111: 274-281.
- Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P: Dental erosion in a population of swiss adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 1991; 19: 286-290.

- Lussi A, Jaeggi T, Schaerer S: The influence of different factors on in vitro enamel erosion. *Caries Res* 1993; 27: 387-393.
- Lussi A: Dental erosion. Clinical diagnosis and case history taking. *Eur J Oral* 1996; 104: 191-198.
- Lussi A, Portmann P, Burhop B: Erosion on abraded dental hard tissues by acid lozenges: an in situ study. *Clin Oral Invest* 1997; 1: 191-194.
- Lussi A, Hellwig E: Erosive potential of oral care products. *Caries Res* 2001; 35 (suppl 1): 52-56.
- Lussi A, Jaeggi T: [Abrasion of erosion-altered dental hard tissues--a literature review]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2002; 112: 629-639.
- Lussi A, Schaffner M, Jaeggi T, Grüniger A: Erosionen: Befund - Diagnose - Risikofaktoren - Prävention - Therapie; in., *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 2005; 115: 917-935.
- Lussi A, Hellwig E, Zero D, Jaeggi T: Erosive tooth wear: Diagnosis, risk factors and prevention. *Am J Dent* 2006; 19: 319-325.
- Lussi A, Jaeggi T: Chemical factors. *Monogr Oral Sci* 2006; 20: 77-87.
- Lussi A, Hellwig E, Ganss C, Jaeggi T: Buonocore memorial lecture dental erosion. *Operative Dentistry* 2009; 34: 251-262.
- Magalhães AC, Moraes SM, Rios D, Buzalaf MA: Effect of ion supplementation of a commercial soft drink on tooth enamel erosion. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 2009; 26: 152-156.
- Meurman JH, Frank RM: Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. *Caries Res* 1991; 25: 81-87.
- Meurman JH, Ten Cate JM: Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 199-206.
- Miller WD: Experiments and observations on the wasting of tooth tissue variously designated as erosion, abrasion, chemical abrasious denudation, etc. *Dent Cosmos* 1907; 49: 1-23.
- Milosevic A, Brodie DA, Slade PD: Dental erosion, oral hygiene, and nutrition disorders. *Int J Eat Disord* 1997; 21: 195-199.
- Munoz CA, Feller R, Haglund A, Triol CW, Winston AE: Strengthening of tooth enamel by remineralizing toothpaste after exposure to an acidic soft drink. *J Clin Dent* 1999; 10: 17-21.
- Nunn HN: Prevalence of dental erosion and the implications for oral health. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 156-161.
- Schlueter N, Duran A, Klimek J, Ganss G: Investigation of the effect of various fluoride compounds and preparations thereof on erosive tissue loss in enamel in vitro. *Caries Res* 2009; 43: 10-16.
- Shulman EH, Robinson HBG: Salivary citrate content and erosion of the teeth. *J Dent Res* 1948; 27: 541-544.
- Sorvari R, Meurman JH, Alakuijala P, Frank RM: Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. *Caries Res* 1994; 28: 227-232.
- Ten Cate JM, Imfeld T: Dental erosion, summary. *Eur J Oral Sci* 1996; 104:241-244.

- Wegehaupt FJ, Schneiders V, Wiegand A, Schmidlin PR, Attin T: Influence of two different fluoride compounds and an in vitro pellicle on the amount of koh-soluble fluoride and its retention after toothbrushing. *Acta Odontol Scand* 2009; 67: 355-359.
- Wegehaupt FJ, Sener B, Attin T, Schmidlin PR: Application of cerium chloride to improve the acid resistance of dentine. *Arch Oral Biol* 2010; 55: 441-446.
- Wiegand A, Attin T: Influence of fluoride on the prevention of erosive lesions-a review. *Oral Health Prev Dent* 2003; 1: 245-253.
- Wiegand A, Meier W, Sutter E, Magalhães AC, Becker K, Roos M, Attin T: Protective effect of different tetrafluorides on erosion of pellicle-free and pellicle-covered enamel and dentine. *Caries Res* 2008; 42: 247-254.
- Wiegand A, Magalhães AC, Attin T: Is titanium tetrafluoride (TiF₄) effective to prevent carious and erosive lesions? A review of the literature. *Oral Health Prev Dent* 2010; 8: 159-164.
- Zero DT: Etiology of dental erosion-extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 162-177.
- Zero DT, Lussi A: Erosion-chemical and biological factors of importance to the dental practitioner. *Int Dent J* 2005; 55: 285-290.
- Zipkin I, McClure FJ: Salivary citrate and dental erosion; procedure for determining citric acid in saliva; dental erosion and citric acid in saliva. *J Dent Res* 1949; 28: 613-626.

10 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent Thomas Attin möchte ich für die freundliche Überlassung des hochinteressanten Themas herzlich danken.

Herrn Klaus Becker danke ich für die ausgezeichnete und akribische Hilfe bei der Versuchsplanung, Versuchsumsetzung und der Auswertung meiner Resultate.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. dent. Florian Wegehaupt für die grossartige Unterstützung während der gesamten Zeit. Die wertvollen Diskussionen, in einer immer ausgesprochen angenehmen Atmosphäre, und die wissenschaftliche Zusammenarbeit waren für mich sehr unterstützend und angenehm. Florian, ich danke dir von ganzem Herzen für die unvergessliche Zeit unserer Zusammenarbeit und die daraus entstandene, für mich sehr wichtige Freundschaft.

Meinen Eltern und meiner Schwester danke ich herzlich für die Unterstützung und ihr Interesse an meiner Arbeit