

**Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf**

**Direktorin: Prof. Dr. Ursula Platzer**

**Zur Bedeutung der Fluoridierung von Glasionomerkement  
für die Fluoridanlagerung an und Fluorideinlagerung in  
Milchzahnschmelz**

**Dissertation**

**zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
der medizinischen Fakultät der Universität Hamburg**

**Julia Jensen  
aus Hamburg**

**Hamburg 2008**

Angenommen von der Medizinischen Fakultät

der Universität Hamburg am: 17.12.2008

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen

Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. U. Schiffner

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in: Prof. Dr. H.-J. Gülzow

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in: PD Dr. H. Seedorf

## **Meinen Eltern**

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Arbeitshypothese</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>10</b>
2.1.	Kariesätiologie	10
2.2.	Fluorid und die Wirkungsmechanismen von Fluorid	11
2.3.	Glasionomerezement	15
2.4.	Fluoridabgabe und –wiederaufnahme durch Füllungsmaterialien	17
2.5.	Lokale Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerezement und der Anwendung von Natriumfluorid	21
2.5.1.	Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerezement	21
2.5.2.	Effekte der lokalen Fluoridierung mit Zahnpasten	26
2.6.	Zusammenfassender Literaturstand	29
<b>3</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>30</b>
3.1.	Milchzahnschmelz	30
3.2.	Glasionomerezement	30
3.3.	Herstellung der Proben	31
3.4.	Versuchsaufbau	32
3.5.	Fluoridbestimmung auf dem Schmelz	37
3.6.	Fluoridbestimmung im Schmelz	39
3.7.	Statistik	44
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>46</b>
4.1.	Ausgangs- und Endfluoridgehalt der Schmelzproben	46
4.2.	Ätztiefen	50

<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>51</b>
5.1.	Diskussion der Methodik	52
5.2.	Diskussion der Ergebnisse	59
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>85</b>
8.1.	Ergebnisse für KOH-lösliches Fluorid	85
8.2.	Ergebnisse für strukturell gebundenes Fluorid und Ätztiefen	86
8.3.	Umgang mit der Fluoridelektrode	87
<b>9</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung</b>	<b>89</b>
<b>11</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung</b>	<b>89</b>

## 1 Fragestellung und Arbeitshypothese

Karies stellt heute immer noch eine der häufigsten Zivilisationskrankheiten in den westlichen Industrieländern dar. Betreuungskonzepte der Vergangenheit zielten darauf ab, durch Karies verursachte Zahndefekte durch restaurative oder prothetische Maßnahmen zu versorgen. Seit einigen Jahren findet jedoch zunehmend eine Umorientierung zur Prävention der Karies hin statt, um die Kariesentstehung zu verhindern oder zumindest zu verringern (*Elderton 1994*).

Trotz des Wandels bezüglich der zahnmedizinischen Betreuungskonzepte fielen im Jahr 2003 zur Behandlung der Karies in Deutschland bei den in einer gesetzlichen Krankenversicherung versicherten Patienten Kosten in Höhe von 8,03 Milliarden Euro an. Der Betrag bezieht sich auf zahnärztliche Behandlung ohne Zahnersatz. Bei Einbeziehung der Zahnersatzkosten lag der Betrag bei 11,82 Milliarden Euro. Dabei gehen von diesen Kosten ca. 50% in die konservierend-chirurgische Zahnbehandlung und ca. 3% in die Individualprophylaxe (*Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung 2004*).

Der Verlauf der Erkrankung und dessen Folgen können jedoch durch Prophylaxe eingegrenzt oder sogar vermieden werden. Gruppen- wie auch individualprophylaktische Maßnahmen haben in Deutschland zu einer starken Verringerung des DMFT-Indexes und einer Zunahme kariesfreier Gebisse bei Kindern und Jugendlichen geführt (*Pieper 1998, Schiffner 2006a*), so dass heute über 70 % der 12-jährigen Jugendlichen kariesfrei sind (*Schiffner 2006a*).

Die Entwicklung verläuft in der Gesamtheit betrachtet zwar positiv, jedoch ist nicht zu verkennen, dass eine Minderheit der Patienten von den Prophylaxebemühungen nicht erreicht wird und ein hohes Kariesrisiko auf sich vereint (*Gülzow et al. 1996, Gülzow und Farshi 2000, Schiffner 2006a*). Zudem ist nach wie vor auch bei den Erwachsenen und Senioren eine starke Verbreitung der Karies anzutreffen (*Schiffner 2006b*). Es besteht also weiterhin ein hoher Bedarf oraler Prävention bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen.

Die Kariesprophylaxe basiert auf Anwendung von Fluoriden, einer zahngesunden Ernährung, einer adäquaten Mundhygiene und regelmäßigen zahnärztlichen Kontrollen (Gülzow 1995). Ergänzt werden diese Maßnahmen durch Fissurenversiegelungen und professionellen Zahnreinigungen.

Lokale Fluoridanwendungen stellen eine der wichtigsten kariespräventiven Maßnahmen dar. Die gute Verfügbarkeit und die Möglichkeit der einfachen Anwendung von Fluorid erklären den in der Vergangenheit in vielen westlichen Industriestaaten beobachteten Kariesrückgang (Marthaler 1984 und 1990, Bowen 1991).

Eine besonders große Rolle spielen dabei fluoridhaltige Zahnpasten, in denen Fluorid in verschiedenen chemischen Verbindungen enthalten ist. Für den Großteil der Bevölkerung bedeutet diese Fluoridquelle die regelmäßige Zufuhr von Fluoriden und damit die Sicherstellung eines wichtigen Pfeilers der Kariesprävention (Hellwig et al. 1999).

Bereits im Kindesalter spielen die lokalen Fluoridierungsmaßnahmen eine große Rolle. Während in vergangenen Jahrzehnten die Fluoridzufuhr bei Kindern in erster Linie über Fluorid-Tabletten erfolgte, existiert seit dem Jahr 2000 eine nach Kriterien der wissenschaftlichen Evidenz erstellte Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK), auf die Fluoridtablettengabe zu verzichten und statt dessen ab dem Durchbruch des ersten Milchzahnes die Zähne mit einer fluoridierten Kinderzahnpaste zu putzen (Gülzow et al. 2000, Stößer 2008). Maßgeblich hierfür ist die Erkenntnis, dass die lokale Wirkung der Fluoride an der Schmelzoberfläche für die Kariesprophylaxe von entscheidender Bedeutung ist. Im Jahre 2006 wurde dieser evidenzbasierte Sachverhalt bestärkt und in Form einer Fluoridierungs-Leitlinie formuliert (Gülzow et al. 2006).

Die Effektivität der lokalen Fluoridierung mit Hilfe von Zahnpasten ist von der Mitarbeit des einzelnen Patienten abhängig. Diese ist bei Kindern häufig sehr eingeschränkt. Unter diesem Gesichtspunkt werden Fluoride auch zahnärztlichen Füllungsmaterialien zugesetzt. Langwährende Fluoridfreisetzung aus den Materialien soll die karieshemmenden Effekte der Fluoride bereitstellen. Durch Fluorid

abgebende Füllungswerkstoffe soll nicht nur Sekundärkaries gehemmt werden, sondern es soll zu einem Teil auch der Entstehung neuer kariöser Läsionen entgegen gewirkt werden (*Benelli 1993*).

Das Füllungsmaterial mit der deutlichsten Fluoridabgabe ist Glasionomerzement. Das durch Glasionomerzement abgegebene Fluorid kann in der Umgebung die Kariesentstehung beeinflussen, indem es Remineralisierungsprozesse fördert und Entmineralisierungsprozesse hemmt (*Hatibovic-Kofmann 1997*). Neben der Fluoridabgabe bieten Glasionomerzemente den Vorteil eines geringen Randspalts aufgrund ihrer chemischen Haftung am Zahn. Außerdem sind sie im Vergleich zu anderen Materialien einfach in der Handhabung und kommen der Kinderbehandlung entgegen.

Die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement ist initial, innerhalb der ersten 24 Stunden, sehr hoch. Anschließend fällt sie auf ein deutlich niedrigeres Niveau ab, so dass die längerfristigen Fluoridierungseffekte aus Glasionomerzement fraglich sind (*Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Hatibovic-Kofman und Koch 1991*). Durch lokale Fluoridapplikation kann Fluorid jedoch auch wieder von Glasionomerzement aufgenommen (*Hatibovic-Kofmann 1996 und 1997, De Witte 2000*) und anschließend wieder an die Umgebung abgegeben werden (*Hatibovic-Kofmann 1997, Forsten 1991*). Diesem als „Wiederaufladung“ oder „rechargement“ bezeichneten Vorgang wird insbesondere in unmittelbarer Umgebung einer Glasionomerzementfüllung ein karieshemmender Effekt zugesprochen (*Staehele und Bößmann 1984, Hellwig et al. 1999*).

Ein Beleg, dass die der Fluoridwiederaufladung folgende Fluoridabgabe klinisch karieshemmende Effekte aufweist, wurde bislang jedoch nicht erbracht. Die Bedeutung dieses „indirekten“ Fluoridierungseffektes, bei der Glasionomerzementfüllungen als vorübergehende Speicher des Fluorids aufgefasst werden können, muss vor allem unter dem Aspekt diskutiert werden, dass im Zuge der „Aufladung“ Fluorid nicht nur auf das Füllungsmaterial, sondern auch direkt auf die Zahnoberfläche appliziert wird. Vor diesem Hintergrund ist die Bedeutung der verzögerten Fluoridfreisetzung aus dem Material ungewiss.



In der vorliegenden In-vitro-Studie soll ein Vergleich der Fluoridanlagerung an sowie der Fluorideinlagerung in oberflächlichen Milchzahnschmelz einerseits aus nicht refluoridierten Glasionomerzement-Proben und andererseits aus wiederaufgeladenen Glasionomerzement-Proben, neben denen der Schmelz nicht fluoridiert wird, gezogen werden. Die Ergebnisse sollen der Fluoridzunahme des Schmelzes gegenüber gestellt werden, die nach einer gleichzeitigen Fluoridierung von Glasionomerzement und Schmelz erfolgt. Dabei soll Wert auf die Simulation oraler Bedingungen gelegt werden. Hierzu gehören das Pellikel, die Speichelionen, die Umgebungstemperatur sowie die oral durchschnittlich auftretende Fluoridkonzentration während des Zähneputzens.

Mit der Untersuchung sollen Kenntnisse über die Schmelzfluoridierung aus Glasionomerzement sowie eine Abschätzung über die kariesprotektive Bedeutung einer Refluoridierung des Zementes im Vergleich zu regelmäßigem Zähneputzen mit fluoridhaltigen Zahnpasten gewonnen werden.

Da die aus Glasionomerzement ohne Refluoridierung (*Creanor et al.* 1994, *Diaz-Arnold et al.* 1995, *Hatibovic-Kofman und Koch* 1991) sowie auch mit Refluoridierung (*Creanor et al.* 1994, *Schiffner und von Bröckel* 1999, *De Witte et al.* 2000) freigesetzte Fluoridmenge gering sind, lautet die der Untersuchung zugrunde liegende Hypothese:

Die nach einer regelmäßigen Fluoridwiederaufladung von Glasionomerzement infolge der dann erhöhten Fluoridfreisetzung aus dem Zement zu ermittelnde Zunahme von Fluorid in bzw. auf benachbarten Milchzahnschmelzarealen ist gegenüber der Erhöhung, die aus einer Fluoridapplikation direkt auf den Zahnschmelz erfolgt, zu vernachlässigen.

## 2 Literaturübersicht

Eingangs der folgenden Übersicht sei erwähnt, dass in der Literatur in erster Linie Untersuchungen an bleibenden Zähnen dargestellt sind. Untersuchungen an Milchzähnen bringen neben der Beschaffung der Zähne auch noch die Problematik mit sich, dass sie ein wesentlich inhomogeneres Untersuchungsmaterial darstellen. Wann immer sich Studien ausdrücklich auf Milchzähne beziehen, ist dies im Text hervorgehoben.

### 2.1. Kariesätiologie

*Miller* (1898) (zitiert nach *Hellwig et al.* 1999) stellte erstmals die chemoparasitäre Theorie vor, die später von anderen Wissenschaftlern erweitert und verifiziert worden ist. Sie ist heute die allgemein akzeptierte Theorie zur Kariesentstehung. Danach müssen vier Grundvoraussetzungen gegeben sein, damit Karies überhaupt entstehen kann (*Keyes* 1962, *König* 1971):

- ein Wirtsorganismus
- kohlenhydratabbauende Bakterien in der Plaque
- abbaufähiges Substrat für den bakteriellen Stoffwechsel
- Zeit, in der die durch die Mikroorganismen entstandenen organischen Säuren den Schmelz demineralisieren können

Des Weiteren spielen zahlreiche Kofaktoren eine Rolle bei der Kariesentstehung: Speichelfluss und –zusammensetzung, Pufferkapazität und pH-Wert des Speichels, Immunabwehr, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, sozioökonomische und verhaltensbezogene Komponenten, Zahnfehlstellungen und –bildungen und letztlich auch die Einstellung des behandelnden Zahnarztes (*Hellwig et al.* 1999).

Karies ist eine plaqueassoziierte Erkrankung. Die Plaque ist ein Biofilm von weicher, klebriger Konsistenz. Bestehend aus Bakterienzellen, Polysacchariden, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Speichelbestandteilen, Nahrungsresten und Wasser, nimmt die Plaque die zentrale Stellung bei der Entstehung von Karies ein. Saure Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen sind für die Demineralisierung des

Schmelzes und Dentins verantwortlich (*Hellwig et al.* 1999). Verschiedene Bakterien haben die Fähigkeit, Mono- und Disaccharide unter Bildung von organischen Säuren zu verstoffwechseln. Nach Spülung mit einer 10%-igen Glucoselösung sinkt der pH-Wert der Plaque rasch unter 5,5 (*Stephan* 1944). Unterhalb dieser kritischen pH-Wert-Grenze liegt eine Gleichgewichtsverschiebung zwischen De- und Remineralisation des Zahnschmelzes in Richtung der Demineralisation der Zahnhartsubstanz vor (*Klimm* 1997).

## 2.2. Fluorid und die Wirkungsmechanismen von Fluorid

Fluor ist ein sehr reaktionsfreudiges Gas aus der Gruppe der Halogene, das in der Natur nicht frei vorkommt. Fluoride sind Salze der Fluorwasserstoffsäure (HF), sie kommen ubiquitär in der Natur z.B. als Fluorapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ), Fluorapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}(\text{OH})$ ) vor. Ihr Anteil an der Erdoberfläche beträgt ca. 0,03%. Besonders hohe Konzentrationen an Fluorid finden sich im Bereich vulkanischer Böden. Meere als Ursprung allen Lebens enthalten Fluoridkonzentrationen zwischen 1,0 und 2,7 ppm (*Strubelt* 1989; 1 ppm entspricht 1 mg/l). Auch im menschlichen Serum und in der Gewebsflüssigkeit findet sich ein Fluoridspiegel von 0,01 bis 0,02 ppm (*Patz* 1975).

Fluorid ist ein essentielles Spurenelement (*Monier-Williams* 1950). Es ist essentiell für die Bildung von Apatit der Zahn- und Knochenmineralisation (*Newesley* 1967). Fluoride werden über übliche pflanzliche und tierische Lebensmittel nur in geringen Mengen aufgenommen (0,2-0,3 mg Fluorid pro Tag, *Schraitle und Siebert* 1987). Höhere Konzentrationen an Fluorid sind dagegen in einigen Teesorten (*Strübig und Gülzow* 1981) und in Mineralwässern enthalten. Bestimmte Fischprodukte und fluoridiertes Kochsalz können ebenfalls als Quelle für die Fluoridaufnahme dienen. In verschiedenen Ländern und Regionen wird das Trinkwasser mit Fluoriden angereichert. Über 90% der deutschen Trinkwässer enthalten weniger als 0,3 ppm Fluorid. Abhängig von der Art der Fluoridverbindung wird Fluorid bis zu 100% resorbiert. Eine gute Bioverfügbarkeit haben die Verbindungen Natriumfluorid (NaF), Zinnfluorid ( $\text{SnF}_2$ ) und Wasserstofffluorid (HF). Schwer löslich dagegen sind

Kalziumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ), Magnesiumfluorid ( $\text{MgF}$ ) und Aluminiumfluorid ( $\text{AlF}_3$ ) (*Ekstrand und Ehrnebo* 1980).

Die Entdeckung der kariespräventiven Wirkung von Fluorid erfolgte durch Untersuchungen in Gebieten der USA, in denen das Trinkwasser von Natur aus stärker fluoridhaltig war. Zunächst wurden vor allem Schmelzflecken („Colorado strain“, mottled enamel) bemerkt (*Eager* 1902, *McKay und Black* 1916, *Ainsworth* 1933). Später führten vor allem *Deans* Untersuchungen zu einer verbreiteten Einführung der Trinkwasserfluoridierung in den USA. In der sogenannten 21 Städte-Studie zeigte er einen deutlichen Zusammenhang zwischen steigender Fluoridkonzentration des Trinkwassers auf der einen und der Abnahme der Kariesprävalenz auf der anderen Seite. Ein Fluoridgehalt von 1 ppm ergab eine deutliche Kariesreduktion, bei der Schmelzflecken klinisch praktisch keine Rolle mehr spielten (*Dean* 1938, *Dean et al.* 1941 und 1942). Seitdem wurden Fluoride und deren Bedeutung für die Kariesprophylaxe umfassend untersucht.

Von Bedeutung für die präventive Zahnheilkunde sind Fluoridverbindungen wie Natrium- und Zinnfluorid, Natriummonofluorophosphat sowie Aminfluoride.

### **Wirkungsmechanismen von Fluorid**

Zahnschmelz besteht zu 95 Gew.-% aus anorganischen Bestandteilen sowie aus Wasser und organischer Matrix. Kalziumphosphate bilden dabei den Hauptbestandteil der kristallinen Schmelzstruktur. Diese können in verschiedenen Formen vorliegen, die stabilste und energieärmste Form ist das Apatit. Das Schmelzmineral liegt im Allgemeinen als Hydroxylapatit (HAP) vor, daneben gibt es auch Vorstufen wie Dikalziumphosphatdihydrat oder Oktakalziumphosphat. Stöchiometrisch rein kommt Hydroxylapatit jedoch selten vor, oft geht HAP Oberflächenkomplexe mit Ionen ein. Leerstellen im HAP-Gitter können mit Fremdionen wie z.B. Karbonat, Magnesium und Fluorid besetzt werden. Die Art der Abweichung ist abhängig von der ionischen Zusammensetzung bzw. vom Sättigungsgrad der den Zahn umgebenden Flüssigkeit (*Fischer et al.* 1995).

Fluoride gelten in der Zahnmedizin als wichtiger Bestandteil der Kariesprophylaxe. Diese Bedeutung hat es aufgrund unterschiedlicher Wirkungsmechanismen und

Eigenschaften erlangt, welche sowohl an den Zahnhartsubstanzen als auch an den Bakterien ansetzen. In welchem Maße die verschiedenen Mechanismen zur Kariesprävention beitragen, ist bislang nicht vollständig geklärt.

Grundsätzlich wird zwischen systemischen und lokalen Applikationswegen von Fluoridverbindungen unterschieden. Vor allem der posteruptiven lokalen Fluoridanwendung wird ein entscheidender Einfluss auf die Kariesprophylaxe zugeschrieben.

Präeruptiv sind Fluoride für den korrekten Ablauf der Zahnmineralisation notwendig. Sie beeinflussen in der Schmelzbildungsphase die Mineralzusammensetzung (geringeren Anteil an Octakalziumphosphat) sowie die Größe der Kristallite. Dies führt zu einer geringeren Löslichkeit von Schmelz (*Glenn 1984*), die klinisch aber praktisch keinen Effekt hat (*Reich et al. 1992, Burt 2004*). Zudem kann eine zu hohe Fluoridzufuhr während der Schmelzbildungsphase zu Störungen in der Kristallstruktur des Zahnschmelzes führen. Dies kann vermehrt bei einer täglichen Fluoridsupplementierung von mehr als 1,3 mg auftreten (*Richards 1967*). Bei dieser sogenannten „Dentalfluorose“ kommt es zur Bildung großer Kristallite im Schmelz. Klinisch kann sie sich als weiße Streifung parallel zu den Perikymatien oder als unscharf begrenzte weiße Fleckung bis hin zu posteruptiven Substanzverlusten aufgrund einer geringeren Schmelzhärte äußern (*Schröder 1991*).

Die für die Kariesprävention ausschlaggebenden Fluorideffekte werden nach lokaler Fluoridanwendung erzielt. Der Wirkungsmechanismus der Fluoride ist dabei von mehreren Parametern abhängig. Wichtig sind unter anderem die Fluoridkonzentration und die Zeit. Bei zweimal täglichem Zähneputzen mit einer Zahnpasta, die einen ausreichend hohen Fluoridgehalt in ionischer Form enthält, sind zumindest diese Kriterien zur Wirkungsentfaltung erfüllt.

Zu den bedeutenden und wichtigsten Eigenschaften der Fluoride gehört die Förderung von Remineralisationsvorgängen. Unter geeigneten Bedingungen kann Fluorid die Rückbildung einer initialen Karies fördern (*von der Fehr et al. 1970*). Die weitgehend intakte Oberfläche der Läsion ist allerdings eine Voraussetzung dafür.

Eine vollständige Remineralisation mit vollständigem Einbau verloren gegangener Mineralien findet jedoch nur außerordentlich selten statt (*Hellwig et al.* 1999).

Direkt nach dem Zahndurchbruch ist die noch nicht vollständig mineralisierte Schmelzoberfläche besonders empfindlich gegenüber kariösen Angriffen, kann aber auch besonders viel Fluorid aufnehmen (*Schiffner* 2001). Nach *Castioni et al.* (1998) sind Fluoride hier bereits in niedriger Konzentration in der Lage, Demineralisationen zu verhindern.

Die Hemmung der Demineralisation durch Fluorid unterliegt folgendem Mechanismus: Wird durch Säureeinwirkung die Hydroxylgruppe aus dem Hydroxylapatitkristall herausgelöst, kann ein Fluoridion als Substituent eingebaut werden, und somit der Demineralisation entgegenwirken (*Arends et al.* 1984, *ten Cate* 1984, *Larsen und Jensen* 1989). Dabei kommt es zur Bildung von Hydroxyl-Fluor-Apatit. Die Löslichkeit dieser Verbindungen durch Säuren nimmt mit zunehmendem Fluoridgehalt ab (*Gülzow* 1995, *Larsen und Jensen* 1989). Dieser Fluorideinbau erfolgt verstärkt im sauren Milieu (*Haubner* 1990).

Fluoridreicher Schmelz hat einen geringeren Karbonatanteil (*Nikiforuk et al.* 1962). Karboniertes Apatit geht aber bei einem initialen Kariesprozess in besonderem Maße in Lösung (*Hallsworth et al.* 1973). Laboruntersuchungen mit Schmelzproben unterschiedlichen Fluoridgehalts ergaben allerdings lediglich einen geringen Einfluss des Fluorids auf die Säurelöslichkeit (*Nelson et al.* 1983, *Larsen und Jensen* 1989), sofern nicht in zuvor demineralisierten Schmelz vergleichsweise hohe Mengen Fluorid eingelagert wurden (*Attin et al.* 1992).

Ein weiterer Wirkmechanismus des Fluorids besteht in der Bildung einer Kalziumfluorid-Deckschicht. Bevorzugt bei saurem pH reagieren aus dem Zahn gelöste Kalziumionen mit dem Fluorid (*Gülzow* 1995, *Schiffner* 2007) Diese Deckschicht dient als Fluoridspeicher, aus dem Fluorid wieder freigesetzt werden kann. Unter neutralen Bedingungen ist das Kalziumfluorid nur langsam im Speichel löslich. Unter Säureeinwirkung ( $\text{pH} < 5$ ) geht Kalziumfluorid in verstärktem Maße in Lösung, und die Fluoridionen stehen somit für Remineralisierungsprozesse zur Verfügung (*Hattab et al.* 1988, *Rölla* 1988, *Rölla und Saxegard* 1990). Die

Kalziumfluoriddeckschicht gilt heute als bedeutender Faktor der Kariesprävention, denn sie fungiert letztlich als pH-gesteuertes Fluoridreservoir, das bei saurem pH-Wert Fluoridionen freisetzt und bei neutralem pH-Wert auf der Schmelzoberfläche chemisch stabil bleibt (Ögaard 1990).

Neben den bereits genannten Wirkmechanismen am Zahnschmelz beeinflussen Fluoride auch den bakteriellen Stoffwechsel. Zum einen hemmt Fluorid die bakterielle Glykolyse und somit auch die Laktatbildung (Klement und Siebert 1985, Wahab et al. 1993). Des Weiteren kann es die Glucoseaufnahme der Bakterien hindern (Hamilton 1977 und 1990) und damit auch die Bildung extrazellulärer Polysaccharide. Außerdem kann hierdurch die Säuretoleranz der Bakterien herabgesetzt werden (Hamilton 1990, Marquis 1990).

### **2.3. Glasionomerzement**

Glasionomerzemente sind Verbindungen aus Ionen freisetzenden Aluminium-Silikatgläsern und Polyalkensäure. Durch Zugabe von Weinsäure und Wasser wird ihre Härtingsreaktion gestartet, und der Zement bindet in einer Säure-Base-Reaktion ab. Der abgebundene Zement besteht aus Glaspartikeln mit einer umgebenden Schicht aus Silikatgel in einer anionischen Polyacrylmatix (Eichner 1988). Vor allem in den ersten Minuten der Abbindung sind Glasionomerzemente besonders feuchtigkeitsempfindlich (Staehele und Ludwig 1985). In der primären Härtingsphase erfolgt die Vernetzung der Polyalkensäuren über Kalziumionen. In der sekundären Härtingsphase werden vor allem Aluminiumionen zur Verbindung herangezogen, durch deren zahlreichere Bindungsmöglichkeiten gewinnt der Zement an Festigkeit. Durch die Zunahme der Bindungen härtet das Material mit längerer Liegezeit weiter aus.

Durch das Eingehen von Bindungen an Kalziumionen ist der Zement in der Lage, über eine Reaktion der Polyalkensäure mit den Kalziumionen des Zahnes auch eine chemische Verbindung zur Zahnhartsubstanz einzugehen. Aufgrund des höheren anorganischen Anteils im Schmelz gegenüber dem Dentin ist die Bindung an den Schmelz stärker als an das Dentin. Die chemische Verbindung zum Zahn ist ein

Vorteil gegenüber anderen Füllungsmaterialien. Durch diese Verbindung zwischen Zahn und Füllung sind Füllungen aus Glasionomerzement besonders randdicht.

Glasionomerzemente besitzen eine hohe Biokompatibilität. Bei direktem Pulpakontakt verursachen sie allerdings eine leichte Entzündungsreaktion der Pulpa, die jedoch innerhalb von 30 Tagen reversibel ist (*Plant et al.* 1984). Auch die Gingiva zeigt nur eine minimale entzündliche Reaktion bei Kontakt mit Glasionomerzement (*Garcia und Charbeneau* 1981). Dabei verursacht eine adäquat gelegte Klasse V-Glasionomerzementfüllung weniger Gingivitis als eine unbehandelte Klasse V-Kavität. Abgesehen von der gut untersuchten Fluoridabgabe und -aufnahme der Glasionomerzemente weist *Geurtsen* (1998) darauf hin, dass Glasionomerzemente vermutlich auch noch weitere Stoffe absondern, die einen Einfluss auf die umgebenden Gewebe haben können und weiter untersucht werden sollten.

Glasionomerzemente sind porös und spröde und daher nur gering bruch-, abrasions- und druckfest. Durch unterschiedliche Zugaben wird der Zement für verschiedene Anwendungsgebiete modifiziert. Auch ihre ästhetischen Eigenschaften sind unbefriedigend. Sie sind sehr opak und damit in Ihrer Farbe nur schlecht dem Zahn anzupassen. Außerdem ist ihre Oberfläche rau und nicht polierbar. *Forss et al.* (1991) zeigten, dass sich auf Glasionomerzementfüllungen aufgrund dieser rauen Oberfläche mehr Plaque anlagerte, als auf einer vergleichbaren Kompositfüllung.

Glasionomerzemente werden häufig als Füllungsmaterial bei Milchzahnkavitäten eingesetzt. Sie verlangen im Gegensatz zu Kompositen nur eine relative Trockenlegung. Dies ist ein entscheidender Vorteil für die Anwendung in der Kinderzahnheilkunde, da Kinder eine absolute Trockenlegung mittels Kofferdam nicht immer tolerieren, und da das vergleichsweise einfache Applizieren von Glasionomerzementen dazu beiträgt, die zeitliche Belastung der Kinder in Grenzen zu halten.



## 2.4. Fluoridabgabe und -wiederaufnahme durch Füllungsmaterialien

Insuffiziente, frakturierte oder verlorene Füllungen sind Indikationen für deren Austausch oder Erneuerung. Sehr häufig aber macht Sekundärkaries eine Neuversorgung mit einer Füllung notwendig (*Mjör 2000*). Deshalb besteht schon seit langem der Wunsch nach einem Füllungsmaterial, das sich möglichst all diesen Problematiken widersetzt. Entsprechend wurden verschiedene Faktoren zur Verbesserung eines Füllungsmaterials in Bezug auf Sekundärkaries untersucht. Zum einen wird versucht, Randspalte nicht entstehen zu lassen. Zum anderen sollen durch das Füllungsmaterial freigesetzte Substanzen zur Karieshemmung eingesetzt werden.

Die wichtigste Substanz hierbei ist das Fluorid. Es wurden verschiedene Materialien entwickelt, die Fluorid abgeben, speichern oder wiederaufnehmen können. Hierzu gehören die Glasionomerzemente, die lichteitende Glasionomerzemente, die Komposere und die fluoridhaltigen Komposite.

Die Glasionomerzemente sind die bezüglich der Fluoridkinetik am genauesten untersuchten Zemente. Sie weisen alle eine gemeinsame Eigenschaft auf: Die Fluoridabgabe ist initial hoch, sinkt dann innerhalb von ein paar Tagen auf ein relativ niedriges Niveau ab und dauert unter weiterer geringer und langsamer Fluoridabgabe noch für ca. ein bis eineinhalb Jahre an (*Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Forsten 1998, Smith 1998, Attin et al. 1990, Schiffner und von Bröckel 1999*).

Lichteitende Glasionomerzemente weisen die gleiche Fluorid-Abgabecharakteristik auf wie die konventionellen Glasionomerzemente (*Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Smith 1998*). Es gibt zwar Unterschiede zwischen verschiedenen Produkten, jedoch lässt sich insgesamt ermitteln, dass die konventionellen wie auch die lichteitenden Glasionomerzemente eine relativ hohe Fluoridabgabe zeigen (*Creanor et al. 1994, Forsten 1995, Glockmann et al. 1997, Smith 1998, Hattab und Amin 2001, Williams 2002*).

Die Art des Füllungsmaterials ist eine Komponente, die für das Ausmaß und die Dauer der Fluoridabgabe mit von Bedeutung ist. Eine andere wichtige Komponente, welche die Fluoridabgabe beeinflusst, ist das Umgebungsmedium. Häufigstes Lager- und Versuchsmedium ist demineralisiertes Wasser. Die daraus resultierenden Ergebnisse können die In-vivo-Bedingungen jedoch nur teilweise widerspiegeln. In Untersuchungen zu dieser Problematik konnte gezeigt werden, dass die Fluoridabgabe bei dem Lager- und Versuchsmedium „künstlicher Speichel“ deutlich geringer ist als bei demineralisiertem Wasser (*Geurtsen et al. 1997, El-Mallakah und Sarkar 1990, Glockmann et al. 1997, Preston et al. 1999, Schiffner und Grundmann 2000, Hattab und Amin 2001, Saul 2002, Regel 2003*). *Rezk-Lega et al. (1991)* zeigten, dass an den humanen Speichel signifikant weniger Fluorid abgegeben wird als an demineralisiertes Wasser. Für die erniedrigte Fluoridabgabe im Speichel können zwei Gründe angegeben werden. Zum einen bildet das Pellikel, welches sich aus Bestandteilen des Speichels, im wesentlichen Glykoproteinen und Proteinen, fest an die Zahnoberfläche anlagert, ein Diffusionshindernis für die Fluoridionen (*Hanning 1994a, Creanor et al. 1995*). Zum anderen enthält Speichel mehr gelöste Ionen, welche im demineralisierten Wasser fehlen und dort das Konzentrationsgefälle stark erhöhen. Im demineralisierten Wasser ist somit die Diffusion löslicher Bestandteile entlang des Konzentrationsgradienten erhöht (*Regel 2003*).

Eine Vorbehandlung von Glasionomierzement-Proben mit humanem Speichel allein reduziert die Fluoridabgabe der Füllungsmaterialien. So kann durch das Pellikel eine Reduktion von bis zu 74% gegenüber der Abgabe von Fluorid in demineralisiertem Wasser auftreten (*Damen et al. 1996*). Auch der Wiederaufladungseffekt einer Glasionomierzementfüllung mit Fluorid wird durch das Pellikel und das Umgebungsmedium „künstlicher Speichel“ negativ beeinflusst; die Fluoridkinetik wird gehemmt (*Regel 2003*).

Das Pellikel hat, in Abhängigkeit vom Lipidanteil, Einfluss als Diffusionsbarriere für verschiedene Ionen und Säuren. Es trägt dazu bei, die Präzipitation von Kalziumsalzen zu inhibieren (*Hanning 1994a*). Saure, prolinreiche Glykoproteine fungieren im adsorbierten Zustand als Inhibitoren und wirken so der kontinuierlichen Ausfällung von Kalziumsalzen an der Schmelzoberfläche entgegen (*Hanning 1994a*). Kontrovers zeigten *Cruz und Rölla (1991)* allerdings, dass das Pellikel kein

Diffusionshindernis für Kalziumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ) darstellt. Ein zwei Stunden altes Pellikel einer In-vitro-Studie reduzierte die Menge an  $\text{CaF}_2$  an der Schmelzoberfläche nicht. Dies belegt, dass das Pellikel vor einer wirksamen Fluoridierung nicht entfernt werden muss. Somit ist das Pellikel für Fluoride permeabel und reduziert nur in geringem Umfang die Aufnahme strukturell zu bindenden Fluorids in den Zahnschmelz (*Hanning 1994b*).

Durch Simulation von kariesfördernden Bedingungen in Form von angesäuerten Lösungen kann ein verändertes Abgabeverhalten von Fluorid aus Glasionomerezement beobachtet werden. Einmalige und auch wiederholte Lagerung in einem angesäuerten Medium bewirkt einen starken Anstieg der Fluoridabgabe gegenüber einem neutralen Medium (*Forsten 1990 und 1995, Saul 2002, Schiffner et al. 2004*).

Nicht nur die Fluoridabgabe, sondern auch die Fluoridaufnahme durch Füllungsmaterialien wurde untersucht. In der Literatur werden zwei Mechanismen zur Fluoridaufnahme diskutiert: Zum einen eine mechanische Anheftung in Mikroporositäten in der Oberfläche des Füllungsmaterials, zum anderen eine chemische Bindung. Dabei wird der Speichermechanismus über die chemische Bindung den konventionellen und lichthärtenden Glasionomerezementen zugeschrieben und die Haftung des Fluorids in Mikroporositäten eher den Kompomeren (*Marinelli und Donly 1993*).

Der Wiederauflade- oder auch „Recharging“-Effekt der Glasionomerezemente beruht auf der Fähigkeit, über eine chemische Bindung Fluorid aufzunehmen, kurzfristig zu binden und wieder abzugeben. Nach einer Fluoridierung ist die Abgaberate des Fluorids aus den konventionellen und den lichthärtenden Glasionomerezementen wie auch aus den meisten Kompomeren erhöht. Zwischen den einzelnen Füllungsmaterialien gibt es jedoch Unterschiede in der Quantität des abgegebenen Fluorids (*Creanor et al. 1994 und 1995, Schiffner und von Bröckel 1999, Knop et al. 2003*).

Hierbei können Fluoridmengen freigesetzt werden, die die initiale Abgabe von Fluorid nach dem Legen einer Füllung überschreiten. Der Nachweis dieser hohen Werte ist

allerdings höchstens für wenige Tage möglich (*Creanor et al.* 1994, *De Witte et al.* 2000). Danach fällt die Fluoridabgabe auf das vorherige Niveau zurück, bis die nächste Fluoridierung erfolgt (*Forsten* 1991, *Hatibovic-Kofmann* 1996, *De Witte* 2000). Diesen Effekt zeigen auch gealterte Glasionomerzementfüllungen (*Seppä et al.* 1993, *Posada et al.* 2000, *Damen et al.* 1999).

Die Menge an abgegebenem Fluorid ist auch abhängig von der Fluoridkonzentration des Präparates, mit welchem fluoridiert wurde. Eine Konzentration des Fluorids von 250 ppm ist in der Lage, die Fluoridabgabe positiv zu beeinflussen. Bereits diese relativ geringe Konzentration erhöht die Fluoridabgabe aus dem Glasionomerzement (*Creanor et al.* 1995). Klinisch hat diese Konzentration Relevanz, da sie in dieser Größenordnung während des Zähneputzens als Speichel-Zahnpasten-Gemisch mit den handelsüblichen fluoridhaltigen Zahnpasten vorkommt (*Fischer* 2001). Auch bei Verdünnung einer Zahnpasta mit einem Fluoridgehalt von 250 ppm wurden „recharging“-Effekte bei konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzementen beobachtet (*Hatibovic-Kofman und Koch* 1991). Sogar bei einer 50 ppm Fluoridlösung ist ein Wiederaufladungseffekt bei konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzementen nach 9 Monaten erzielt worden (*Forsten* 1995).

Konventionelle und lichthärtende Glasionomerzemente erreichen im Vergleich zu nicht-fluoridierten Kontrollproben nach 20 Tagen Fluoridabgabewerte, welche die der Kontrollen um ein Vielfaches übersteigen (*Creanor et al.* 1994 und 1995). Auch in der Untersuchung von *De Witte* (2000) konnte bei dem Glasionomerzement nach jeder von insgesamt vier Fluoridierungen eine deutlich erhöhte Fluoridabgabe gemessen werden. Durch eine regelmäßige Fluoridierung, die zweimal täglich stattfinden sollte, kann die Fluoridabgabe durch einen Glasionomerzement auf einem relativ konstanten Level gehalten werden. Dabei ist die Fluoridabgabe in einer sauren Lösung stets höher als in einer neutralen Lösung (*Vieira et al.* 1999).

*Olsson et al.* (2000) untersuchten die Fluoridabgabe von Glasionomerzement, welcher mit verschiedenen Zahnpasten unterschiedlichen pH-Wertes wieder fluoridiert wurde. Dem Ergebnis nach kann eine Füllung aus einer saureren Zahnpasta mehr Fluoride aufnehmen als aus einer mit höherem pH-Wert.

Die erhöhte Fluoridabgabe der konventionellen und lighthärtenden Glasionomerzemente ist auch nach mehrmals wiederholter Fluoridapplikation reproduzierbar (*Hatbovic-Kofman et al.* 1997). Über die Konstanz der abgegebenen Fluoridmenge durch Füllungsmaterialien wird konträr diskutiert (*De Witte et al.* 2000).

In-vivo wird der Effekt des Wiederaufladens der Füllung wahrscheinlich nicht den Ergebnissen der meisten In-vitro-Studien entsprechen, da durch Plaque und Pellikel die Aufladung der Glasionomerzemente verringert wird (*Creanor et al.* 1995).

Auch die Behandlung mit Oberflächenlacken, die häufig laut Herstellerangaben nach dem Legen einer Glasionomerzementfüllung gefordert wird, kann die Fluoridabgabe beeinflussen. *Posada et al.* (2000) konnten nach der Behandlung von Füllungen mit einem Glanzlack fast keine Fluoridabgabe mehr beobachten.

## **2.5. Lokale Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerzement und der Anwendung von Natriumfluorid**

### **2.5.1. Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerzement**

Die durch Füllungsmaterial abgegebenen Fluoridionen können bei De- und Remineralisierungsvorgängen dem benachbarten Zahnschmelz zur Verfügung stehen.

Der einer Glasionomerzementfüllung benachbarte Zahnschmelz zeigt einen signifikanten Anstieg des Fluoridgehaltes. Dieser erhöht sich unabhängig vom natürlichen Fluoridgehalt; die Menge an Fluorid und auch die Eindringtiefe nehmen zu. Bereits 1988 zeigte *Strübig*, dass im oberflächlichen Schmelz eine erhebliche Anreicherung von Fluorid festzustellen ist, nachdem dieser für vier Wochen in Kontakt mit Glasionomerzement gestanden hat. Bei einer weiteren Untersuchung am Schmelz, auf denen Brackets mit Glasionomerzement befestigt worden waren, war der Fluoridgehalt nach 40 bis 80 Tagen signifikant gestiegen (*Fischer-Brandies* 1991). Nach zehn Tagen konnte ein Fluoridgehalt von 0,1255 Gew.-% und nach achtzig Tagen ein Fluoridgehalt von 0,2819 Gew.-% ermittelt werden. Ein

signifikanter Einbau von Fluorid in den Schmelz war bis 3 mm Abstand vom Bracket messbar (*Fischer-Brandies 1991*). Die Befestigung von kieferorthopädischen Brackets mit Glasionomerezement hat also einen lokalen kariostatischen Effekt (*Twetman et al. 1997*).

Im Dentin ist ebenfalls neben und unter der Füllung eine signifikante Fluoridanreicherung durch lighthärtenden Glasionomerezement zu verzeichnen. Die Fluoridkonzentration nimmt auch hier ähnlich dem Schmelz mit Vergrößerung des Abstandes zur Füllung ab (*Mukai et al. 1993*).

Die Abgabe von Fluoridionen aus verschiedenen Füllungsmaterialien ist, wie bereits beschrieben, unterschiedlich hoch. Genauso unterschiedlich ist auch die Fluoridmenge, die sich aus verschiedenen Zementen an bzw. in den Zahnschmelz an- und einlagert.

Das Risiko der Sekundärkaries kann durch eine Füllung mit Glasionomerezement minimiert werden, denn in-vitro kann unter kariesfördernden Bedingungen eine Glasionomerezementfüllung den Kavitätenrand vor Demineralisation schützen (*Staehele und Bößmann 1984*). Auch *Hattab et al. (1989)* zeigten in einer In-vitro-Untersuchung, dass Glasionomerezemente im Vergleich zu Komposit- oder Amalgamfüllungen den größten Schutz vor Sekundärkaries bieten.

Unter günstigen In-vitro-Bedingungen sind die aus einer Glasionomerezementfüllung abgegebenen Fluoridionen fähig, initialkariöse Läsionen am Nachbarzahn zu remineralisieren. 62% artifizieller Läsionen zeigten in einer Studie eine quantitative Reduktion des Läsionskörpers mit durchschnittlich 43% Verkleinerung nach der ersten und weiteren 14% nach der zweiten Woche. Auch eine qualitative Änderung des Läsionskörpers, nämlich eine Verkleinerung des Porenvolumens, konnte festgestellt werden (*Hatibovic-Kofman et al. 1997*). Die abgegebenen Fluoride können also zur Remineralisation einer Initialkaries beitragen.

Auch unter einer Plaqueschicht können die von Glasionomerezement abgegebenen Fluoridionen eine initialkariöse Läsion bis zu einem bestimmten Grad remineralisieren, während sich unter gleichen Bedingungen in der Nähe von

Komposit- oder Amalgamrestorationen die Läsionstiefe weiter erhöht (*ten Cate und van Duinen* 1995).

Die fluoridabgebende Wirkung der Glasionomerzemente wird mit der Zeit schwächer, hält sich aber konstant auf einem niedrigen Niveau. Eine neue Glasionomerzementfüllung verhindert das Erweichen des Zahnschmelzes im sauren Milieu bei pH 5 noch signifikant. Nach vier Wochen ist dieser Effekt allerdings sehr stark reduziert, die Säureresistenz des Schmelzes ist unter kariösen Bedingungen nicht mehr erhöht. Nach einem „recharging“ des Glasionomerzements mit Fluorid tritt ein erneuter, schützender Effekt auf, der auch noch nach weiteren vier Wochen erkennbar ist (*Seppä* 1994).

Neben den Effekten auf die Zahnhartsubstanz hat Glasionomerzement auch Auswirkungen auf Bakterien, Plaque und Speichel. Frisch gelegte Glasionomerzementfüllungen geben ausreichende Fluoridmengen ab, um den durch *Streptococcus mutans* verursachten pH-Wert-Abfall zu verringern und somit einen antikariogenen Effekt zu erzielen. Bei alten Glasionomerzementfüllung reduziert sich dieser Effekt durch die mit der Zeit sinkende Fluoridabgabe (*Seppä et al.* 1993 und 1995). Durch die Fluoridierung der alten Füllungen mit einem Fluoridgel (1,25% F<sup>-</sup>) kann jedoch eine Fluoridionenabgabe erreicht werden, die die initiale Abgabe übersteigt und somit den antibakteriellen Effekt signifikant steigert. Der Unterschied zwischen konventionellen und lichterhärtenden Glasionomerzementen ist dabei gering. Bei Fluoridierung mit einer Zahnpasta hingegen ist der inhibierende Effekt auf die Bakterien nur gering ausgeprägt (*Seppä et al.* 1993).

Auf in-vitro gelegten Glasionomerzementfüllungen wächst Plaque schneller als auf Kompositfüllungen, da der Zement die wesentlich porösere Oberflächenstruktur hat (*Forss et al.* 1991). Alte Glasionomerzementfüllungen haben keinen Effekt auf die Fluoridmenge in der Plaque, die sich auf der Füllung strukturiert hat. Auch wenn diese Füllungen fluoridiert werden, gibt es keine signifikante Anreicherung der Fluoridmenge in der Plaque (*Forss et al.* 1995).

Fluorid hat, wie bereits beschrieben, einen Einfluss auf den bakteriellen Stoffwechsel und kann modifizierend in den Anheftungsprozess an die Zahnhartsubstanz und das Bakterienwachstum eingreifen. Dies ist jedoch abhängig von der umgebenden

Fluoridkonzentration. In der Plaque werden allerdings keine Fluoridkonzentrationen erreicht, die zum Absterben der Mikroorganismen führen (*Hellwig et al.* 1999).

In einer weiteren Studie wurden der Einfluss auf das Bakterienwachstum und die Laktatproduktion untersucht. Durch den Glasionomerzement Ketac-Fil konnte neben der Laktatproduktion auch in geringem Maße das Bakterienwachstum inhibiert werden. Anfangs war eine Wachstumsreduktion von 72% zu beobachten, dieser Effekt korrelierte mit der abgegebenen Fluoridmenge durch das Füllungsmaterial und ließ mit der Zeit nach. Das Bakterienwachstum betrug 95% nach einem halben Jahr im Vergleich zur Ausgangssituation (*Seppä* 1993, *Friedl et al.* 1997).

Die in-vitro nachgewiesenen Effekte über die Fluoridabgabe durch Füllungsmaterialien und deren Einflüsse werden in-vivo durch viele zusätzliche Faktoren stark beeinflusst, so dass die nachfolgend aufgeführten In-vivo-Studien letztlich nur einen Teil der im Laborversuch gewonnenen Ergebnisse bestätigen konnten.

*Forsten* (1998) führte 1991-1992 eine Umfrage via Fragebögen an Zahnärzten und Zahnärztinnen durch, um die Frage, ob ein Auftreten von Karies oder Gingivitis in Zusammenhang mit Glasionomerzementfüllungen oder Kompositfüllungen beobachtet wurde, zu beantworten. Die Mehrheit der Antworten zeigte, dass im Zusammenhang mit Glasionomerzement nie oder selten Karies oder Gingivitis beobachtet wurde, im Vergleich zu Kompositen hingegen öfter.

In einer vergleichenden Untersuchung über die Befestigung kieferorthopädischer Brackets konnte in einer Glasionomerzement-Gruppe gegenüber einer Komposit-Kontrollgruppe eine Kariesreduktion ermittelt werden, die auf die Fluoridfreisetzung des Glasionomerzementes zurückgeführt wurde (*Twetman et al.* 1997).

Nach dem Legen von einer bis sechs Glasionomerzementfüllungen steigt der Fluoridgehalt im Speichel um ein Vielfaches an, um danach, wie auch in den In-vitro-Studien, langsam wieder abzusinken. Im Vergleich zu der Fluoridionenkonzentration im Speichel vor dem Legen der Füllungen blieb die Konzentration der Fluoridionen im Speichel jedoch deutlich erhöht (*Koch und Hatibovic-Kofman* 1990). Anfängliche



Unterschiede der einzelnen Glasionomerzemente in ihrem Fluoridabgabeverhalten wurden im Laufe der Zeit immer geringer, genau wie die Quantität der abgegebenen Fluoridionen. Die Konzentration der Fluoridionen im Speichel war nach einem Jahr jedoch immer noch erhöht (vor dem Legen der Füllung: 0,02-0,03 ppm, nach einem Jahr: 0,05 ppm; *Hatibovic-Kofman und Koch* 1991).

*Hallgren et al.* (1993) fanden in ähnlicher Weise einen Konzentrationsanstieg von Fluoridionen in der Plaque, welche Brackets bedeckte, die ein halbes Jahr zuvor mit Glasionomerzement befestigt wurden. Nach einem Jahr war der Fluoridgehalt der Plaque bei den Probanden immer noch erhöht.

*Seppä et al.* (1992) erzielten hingegen durch das Legen einer Glasionomerzementfüllung keinen Effekt auf die Fluoridkonzentration in der Plaque nahe der Umgebung der Füllung. Auch ein Anstieg des Fluoridgehaltes in gesundem oder angeätztem Schmelz konnte nicht festgestellt werden. Eventuell wurde bei dieser In-vivo-Studie jedoch der Fluorid-Effekt der Füllung durch eine weitere individuelle Fluoridierungsmaßnahme der Probanden überlagert. Auch *Forss et al.* (1995) fanden in einer In-vivo-Studie in der Plaque auf gealterten Glasionomerzementfüllungen weder einen signifikanten Anstieg der Fluoridkonzentration noch eine signifikante Abnahme von *Streptococcus mutans* und Laktobazillen.

Eine Untersuchung von *Ertugrul et al.* (2003) liefert einen weiteren Beleg für die Widersprüchlichkeit der Studienergebnisse über Auswirkungen von Glasionomerzementfüllungen auf Plaque. Die Autoren fanden nach Verwendung eines Glasionomerzementes als Füllungsmaterial bei Approximalläsionen an Milchzähnen eine signifikante Abnahme von *Streptococcus mutans* im Gesamtspeichel sowie signifikant weniger Streptokokken in der Plaque auf den Glasionomerzementfüllungen im Vergleich zu Amalgamfüllungen.

### 2.5.2. Effekte der lokalen Fluoridierung mit Zahnpasten

Über die Wirkungsweise und Effekte von Fluorid aus Zahnpasten, Mundspüllösungen und Gelees gibt es neben Laborstudien auch zahlreiche klinische Studien. Viele Studien beschäftigen sich mit einzelnen Fluoridverbindungen und deren Auswirkung auf den Zahnschmelz. Aminfluorid ist dabei die Verbindung, die in vitro die besten Fluoridierungsergebnisse erzielt (*Mühlemann et al.* 1967, *Barbakow* 1983, *Gülzow* 1995, *Bánóczy et al.* 1989, *Schmeiser und Strübig* 1990, *Klimek et al.* 1998, *Hellwig et al.* 1999).

Bereits in einer frühen In-vitro-Studie über die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz nach Anwendung verschiedener Fluoridverbindungen konnte die überlegene Fluoridierungsleistung von Aminfluorid gezeigt werden (*Mühlemann et al.* 1967). Bei einem Ausgangs-Fluoridkonzentration von durchschnittlich 300 ppm im Oberflächenschmelz konnte bei Applikation von Natriumfluorid bei pH 9,3 eine Erhöhung der Fluoridkonzentration auf 360 ppm erzielt werden. Die Anwendung von Zinnfluorid resultierte in einer Erhöhung auf 440 ppm und die Anwendung von Aminfluorid auf über 2140 ppm Fluorid im Oberflächenschmelz. Zusätzlich erwies sich die CaF<sub>2</sub>-Deckschicht im Vergleich zu den anderen Fluoridverbindungen als stabiler (*Mühlemann et al.* 1967).

In weiteren In-vitro-Studien konnte ebenfalls gezeigt werden, dass fluoridhaltige Zahnpasten einen signifikanten Fluorideinbau in den Schmelz nach sich ziehen (*Klimek et al.* 1998, *Gülzow et al.* 1993). Die Eindringtiefe beträgt dabei bis zu 20 µm in den Oberflächenschmelz. Die Fluorideinlagerung ist bei einer aminfluoridhaltigen Zahnpasta signifikant größer als bei einer Natriumfluorid-Pasta (*Klimek et al.* 1998). Beide Verbindungen führen zu einer CaF<sub>2</sub>-Deckschicht (*Klimek et al.* 1998).

In demineralisiertem Schmelz von Rinderzähnen kommt es schon bei relativ geringen Fluoridkonzentrationen zu einer hohen und stabilen Anreicherung von Fluorid (*Hellwig und Klimek* 1984). Die Anreicherung aus Natriumfluorid oder Natriummonofluorophosphat differenziert allerdings: Während sich bei einer Konzentrationserhöhung von Natriummonofluorophosphat von 200 ppm auf 2000 ppm die Anreicherung von Fluorid im Schmelz nicht erhöht, bewirkt eine entsprechende

Anhebung der Konzentration von Natriumfluorid eine erhebliche Erhöhung des Fluoridgehaltes im Oberflächenschmelz, allerdings ohne gleichmäßige Tiefenpenetration. Das deutet auch auf die Bildung einer  $\text{CaF}_2$ -Deckschicht hin (*Hellwig und Klimek* 1984).

Wird gesunder Schmelz und demineralisierter Schmelz für eine Stunde mit einer 2000-ppm-Fluoridlösung behandelt, so zeigen sich Unterschiede hinsichtlich des strukturell gebundenen Fluorids. Der Fluorideinbau ist bei kariösen Läsionen signifikant höher als bei erodiertem oder gesundem Zahnschmelz (*Attin et al.* 2000). Die Bildung der Kalziumfluoriddeckschicht verhält sich umgekehrt, auf gesundem Schmelz bildet sich ein größeres Präzipitat an Kalziumsalzen als auf demineralisiertem Schmelz (*Haubner* 1990).

*Marinelli und Mitarbeiter* (1997) konnten in einer Laborstudie ebenfalls zeigen, dass approximale, kariöse Läsionen durch zweimal tägliches Zähneputzen für 2 Minuten oder durch Spülung mit einer Natriumfluoridlösung eine signifikante Remineralisation des Oberflächenschmelzes erfahren. Im gleichen Versuchsansatz konnte ebenfalls eine Remineralisation von Initialläsionen, die im Kontakt zu Glasionomerezementfüllungen (*Vitremer*) standen, beobachtet werden.

*Arends und Mitarbeiter* (1980) untersuchten die Fluorideinlagerung in Zahnschmelz sowohl von bleibenden Zähnen als auch von Milchzähnen nach der Behandlung mit unterschiedlichen Fluoridpräparaten. Dabei stellten sie fest, dass Milchzahnschmelz fast doppelt so viel Fluorid eingelagert hatte als bleibender Schmelz. Dies steht in Relation zu der durchschnittlichen Mineralisation und der Prismen- und Porengröße der beiden Schmelzsorten (*Arends und Jongbloed* 1978).

Auch klinische Studien bestätigen die im Laborversuch gewonnenen Ergebnisse. In einer Untersuchung, die mit 11- bis 12-jährigen Kindern drei Jahre überwacht durchgeführt wurde, konnte durch eine 0,22% NaF enthaltende Zahnpasta im Vergleich zu einer fluoridfreien Pasta eine Kariesreduktion von bis zu 48,3% erreicht werden (*Koch* 1967). Auch eine Studie von *Jensen und Kohout* (1988) belegte mit einer Kariesreduktion von 41 - 51% die kariesprotektive Wirksamkeit natriumfluoridhaltiger Zahnpasta. Unkontrollierter Gebrauch einer natriumfluoridhaltigen Zahnpasta bewirkt

ebenfalls eine Reduktion des Karieszuwachses. Eine Studie an Kindern in Ohio ergab, dass auf diese Weise eine Kariesreduktion von 40% erreicht wurde (*Zacherl 1981*). *Murray (1991)* erzielte bei Verwendung einer fluoridhaltigen Zahnpasta eine Hemmung des Karieszuwachses um 20 - 30%, abhängig von der Dauer und Regelmäßigkeit der Mundhygienemaßnahmen.

Ebenso konnte bei älteren Probanden (54 - 63 Jahre) mit natriumfluoridhaltiger Zahnpasta an freiliegenden Wurzelflächen eine Kariesreduktion von 67% und an den Schmelzflächen von 41% erreicht werden (*Jensen und Kohout 1988*).

*Ögaard et al. (1986)* erzeugten mittels kieferorthopädischer Bänder an Zähnen, die aus kieferorthopädischen Gründen zu extrahieren waren, kariöse Initialläsionen. Die Versuchsgruppe, die diese täglich mit einer 0,2%-NaF-Lösung spülte, hatte 80% weniger Mineralverlust und eine dreimal geringere Läsionstiefe als die Kontrollgruppe, die keine Fluoridierung erhielt.

Aminfluoridhaltige Präparate wie Zahnpasten, Lösungen oder Gelees können in Abhängigkeit von der Konzentration im Vergleich zu Natriumfluorid und Natriummonofluorophosphat zu signifikant besseren Ergebnissen bezüglich der Säurelöslichkeit des Oberflächenschmelzes und der Fluorideinlagerung im Schmelz führen (*Bánóczy et al. 1989, Barbakow 1983, Schmeiser und Strübig 1990*). So bewirkt bereits ein relativ geringer Fluoridgehalt in einer Zahnpasta (Silca) nach 24-monatiger, angeleiteter und kontrollierter Anwendung bei Kindern im Alter von durchschnittlich 8,5 Jahren eine signifikante Erhöhung der Fluorideinlagerung in den Oberflächenschmelz (*Treide 1981*). Bezüglich der Demineralisationshemmung hingegen konnte in der Regel weder in vitro noch in vivo ein signifikanter Unterschied zwischen der Anwendung von Aminfluorid und von Natriumfluorid, das in vielen Zahnpasten enthalten ist, nachgewiesen werden (*Einwag et al. 1995, Toda und Featherstone 2008*).

## 2.6. Zusammenfassender Literaturstand

Zusammenfassend stellt sich der Stand der Literatur zu den Effekten von Fluorid an Glasionomerzement und an Zahnschmelz folgendermaßen dar:

Glasionomerzemente sind in der Lage, Fluorid abzugeben und aus fluoridhaltigen Präparaten auch wieder aufzunehmen. Die Ausprägung dieser Eigenschaften ist von mehreren Faktoren abhängig. Die Quantität wird durch die stoffliche Zusammensetzung des Materials selbst und durch äußere Faktoren wie Eigenschaften des Speichels und des umgebenden Milieus bestimmt.

Das aus dem Glasionomerzement abgegebene Fluorid führt in-vitro zu einer Fluoridein- und -auflagerung im und am Oberflächenschmelz. Dies entspricht prinzipiell dem Effekt nach lokalen Fluoridierungsmaßnahmen wie der Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasta, Mundspüllösungen oder Gelees. Allerdings scheinen die Effekte nach regelmäßiger lokaler Fluoridapplikation deutlicher ausgeprägt zu sein als nach Einbringen von Glasionomerzement. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß die Fluoridein- und -auflagerung in und an der Oberfläche des Zahnschmelzes aus regelmäßig refluoridiertem Glasionomerzement angesichts des Effektes der eigentlichen lokalen Fluoridapplikation von Bedeutung ist.

### **3 Material und Methode**

#### **3.1. Milchzahnschmelz**

Für die Untersuchung wurden Schmelzproben von Milchzähnen verwendet, die auf natürlichem Wege ausgefallen waren. Es wurden sowohl Front- als auch Seitenzähne benutzt, wobei ausschließlich kariesfreie Zähne verwendet wurden. Die Zähne wurden nach der Exfoliation in Wasser gelagert. Die Reinigung erfolgte wenn nötig mit einem Skalpell und 3%-iger Wasserstoffperoxidlösung.

Aus jedem Zahn wurden mit einer Diamanttrennscheibe mindesten zwei, aus einigen sogar drei Schmelzplättchen herausgeschnitten. Es wurde darauf geachtet, Flächen mit möglichst geringer Wölbung herauszutrennen. Die Plättchen waren individuell unterschiedlich groß, wobei Ihre Form überwiegend der eines Trapezes entsprach. Die Schmelzproben wurden mit einer Schieblehre vermessen. Nach der Formel zur Berechnung von Trapezflächen wurde die Fläche der Plättchen bestimmt.

Von den Schmelzplättchen eines Zahnes diente jeweils eines als Kontrolle der Fluoridbestimmung, das oder die weiteren wurden den Untersuchungsgruppen zugeteilt. Dabei standen 30 Kontrollplättchen 30 Testplättchen gegenüber. Die Aufbewahrung der Plättchen erfolgte bis zu der eigentlichen Untersuchung in einer feuchten Kammer bei Raumtemperatur.

#### **3.2. Glasionomerzement**

Es wurde der Glasionomerzement Ketac-Fil Plus, Aplicap, Farbe A3 der Firma 3M ESPE Dental AG (Seefeld, Deutschland) mit einer Füllmenge von 360 mg pro Kapsel verwendet.

Inhaltsstoffe der Kapsel sind Pulver, welches aus Kalzium-Aluminium-Fluoro-Silikatglas besteht, und Flüssigkeit, die sich aus Acrylsäure-Maleinsäurecopolymer, Weinsäure, Benzoesäure und Wasser zusammensetzt.

### 3.3. Herstellung der Proben

Für die Aufnahme des Glasionomerzements dienten 30 handelsübliche Trinkhalme mit einem Durchmesser von 4,9 mm. Um die auf 30 mm gekürzten Halme stabiler zu gestalten, wurden sie bis auf 2 mm mit Palavit G (Kaltpolymerisat, Heraeus Kulzer; Hanau; Deutschland) befüllt. Die verbliebenen 2 mm des Halmes dienten zur Aufnahme des Glasionomerzementes. Die Verarbeitung der Füllungsmaterialien erfolgte dabei nach Herstellerangaben. Nach Aktivierung der Kapsel wurden diese 10 Sekunden auf einem Rüttler gemischt (ESPE Capmix; Seefeld, Deutschland), in die Trinkhalmenden eingebracht und abschließend mit einem Schaumstoffpellet geglättet.

Für die Aufnahme der Schmelzproben dienten ebenfalls 30 mit Palavit G befüllte Trinkhalme, wobei diese nur 17 mm lang waren. Jeder Halm wurde um einen Zentimeter mit Modellier- und Gusswachs (Prepon, Bayer Dental, Lanzetten grün) verlängert. An die Stirnseite des Wachses wurde das Schmelzplättchen fixiert und eingebettet, so dass nur noch die zu untersuchende Schmelzoberfläche frei lag.

Da für die Untersuchung drei verschiedene Gruppen vorgesehen waren, wurde im Folgenden die weitere Probenherstellung auf den Versuchsaufbau abgestimmt.

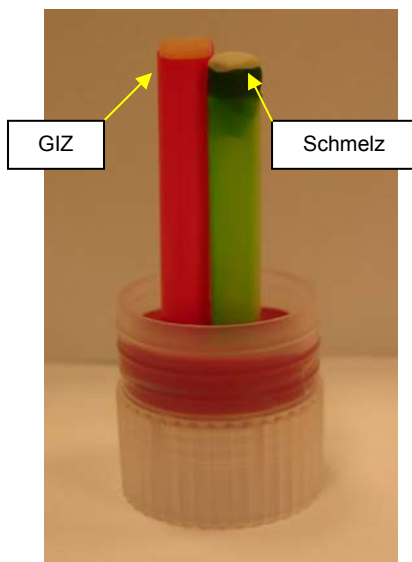
Für die Versuchsgruppen A und C wurden jeweils ein Plastikhalm mit Glasionomerzement und ein Plastikhalm mit Schmelzplättchen mittels Palavit G so in einem Deckel kleiner Plastikgefäße (12ml; 40x23,5; Sarstedt, Deutschland) befestigt, dass das Schmelzplättchen einen Abstand von ca. 3 mm zur Füllungsprobe hatte (Abb. 1 und 2). Für die Versuchsgruppe B wurde der Halm mit dem Glasionomerzement mittels Palavit G im Deckel der Plastikgefäße befestigt. Der Halm, der das Schmelzplättchen trug, wurde mittels Klebewachs so am Palavit G im Deckel befestigt, dass Glasionomerzement und Schmelzplättchen wiederum einen Abstand von 3 mm aufwiesen. Der Halm mit dem Schmelzplättchen konnte jedoch von dem Halm mit der Füllung entfernt und wieder reponiert werden (Abb. 3).

Die Proben wurden jeweils am Gefäßdeckel mit einer Nummerierung versehen. Gruppe B erhielt zusätzlich, um Verwechslungen während des Versuchs

auszuschließen, eine Nummerierung auf dem Halm mit dem herausnehmbaren Schmelzplättchen.

Die Proben wurden in einer feuchten Kammer bei 6 Grad Celsius bis zum Versuchsbeginn gelagert. Insgesamt waren somit 30 Proben von benachbartem Glasionomerzement und Milchzahnschmelz hergestellt worden. Weitere 30 Schmelzabschnitte dienten der Kontrolle zur Ermittlung der Fluoridaufnahme. Diese Kontroll-Schmelzplättchen wurden ebenfalls mittels Wachs an einem mit Palavit G befüllten Halm befestigt und in den Deckeln von Plastikgefäße fixiert.

### Abbildungen 1 - 3



**Abb. 1:**  
Probenaufbau für  
Gruppe A und C



**Abb. 2:**  
Plastikgefäß mit  
künstlichem  
Speichel



**Abb. 3:**  
Probenaufbau für  
Gruppe B:  
Schmelzplättchen  
und GIZ trennbar

### 3.4. Versuchsaufbau

Für die Versuchsdurchführung wurden folgende Lösungen bereitgestellt:



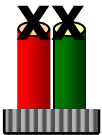
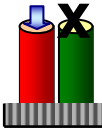
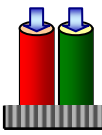
## Fluoridlösung

Für die Fluoridierung wurde eine Natriumfluoridlösung verwendet, deren Konzentration auf 100 ppm festgelegt wurde, da dies in etwa der Konzentration eines Zahnpasta-Speichelgemisches beim Zähneputzen eines Kindes mit einer Kinderzahnpasta entspricht (Fischer 2001). Hierfür wurden unter Zugrundelegung der Molekulargewichte von Natrium und Fluorid 0,442 g NaF in 2000 ml Aqua bidest. gelöst.

## Künstlicher Speichel

In 10 Liter Aqua bidest. wurden 12,0 g KCL, 8,43 g NaCl und 3,42 g  $K_2HPO_4+3H_2O$  gelöst. Anschließend wurden 5 ml 1n-HCl eingerührt. Zum Schluss kamen 1,46 g  $CaCl_2+2H_2O$  hinzu (Matzker und Schreiber 1972). Der pH-Wert des künstlichen Speichels betrug 6,9.

Ziel der Studie war es, die Fluoridaufnahme von Zahnschmelz aus Glasionomerzement, aus regelmäßig „wieder aufgeladenen“ Glasionomerzementen, sowie aus der „aufladenden“ Fluoridlösung zu vergleichen. Hierzu wurden die 30 Probekörper auf 3 Untersuchungsgruppen á 10 Proben aufgeteilt und unterschiedlichen Fluoridierungsprozessen zugeführt (Tabelle1).

Gruppe A	keine Fluoridierung	
Gruppe B	Keine Fluoridierung der Schmelzproben; Fluoridierung der Glasionomerzement-Proben	
Gruppe C	Fluoridierung der Schmelzproben und der Glasionomerzement-Proben	

**Tabelle 1: Fluoridbehandlung der Probengruppen über 28 Tage**

Zur einfacheren Handhabung aller Proben einer jeden Untersuchungsgruppe wurden aus handelsüblichem Maschendraht mit einer quadratischen Maschenstärke von 1 cm unterschiedliche Einhänggitter mit Silikongriffen (Silagum Putty Soft; DMG

Hamburg) für das Wasserbad bzw. die Fluoridlösung hergestellt. Die Gitter wurden passend zu Kunststoffschalen (Curver) hergestellt, um die Proben von Gruppe B und C zugleich fluoridieren zu können. Die Proben wurden, mit Ausnahme der Gruppe A, über einen Zeitraum von 28 Tagen täglich morgens um 9 Uhr und abends um 18 Uhr fluoridiert.

Alle Proben wurden täglich zunächst zur Pellikelbildung mit frischem humanen Speichel beschickt. Schmelzplättchen und Füllungen waren mit Speichel bedeckt und wurden so für eine Stunde in den Behältern belassen, da nach dieser Zeit die wichtigsten Faktoren des Pellikels entstanden und stabil sind. Nach der Pellikelbildung wurden alle Proben für 10 Sekunden in demineralisiertem Wasser gespült.

Aufgrund von Abbauvorgängen im Pellikel erfolgte täglich eine neue Pellikelbildung (*Hanning 1994a*). Dieses Vorgehen entspricht einer vorhergehenden Studie zur Überprüfung des Einflusses von Speichelionen und -proteinen auf die Fluoridfreisetzung von Glasionomierzement (*Regel 2003*).

Während der Pellikelbildung wurden neue kleine Plastikbehälter bereitgestellt und mit dem zuvor angesetzten künstlichen Speichel versehen. Die Menge des künstlichen Speichels betrug pro Behälter 2,5 ml. Nach jeder Fluoridierung wurden neue Gefäße mit frischem, künstlichen Speichel bereit gestellt.

Auf einen Rüttler (Fa. Gerhardt, Motorstufe 1) wurde eine Kunststoffschale mit der 100-ppm-Natriumfluoridlösung zur Fluoridierung der Proben gestellt. Es wurden 500 ml dieser Lösung verwendet und alle drei Tage gewechselt, um Verringerungen der Fluoridkonzentration durch Aufnahme in die Proben zu kompensieren.

Nach der Fluoridierung wurden die Proben für 10 Sekunden mit bidestilliertem Wasser gespült, um anschließend in die Plastikbehälter mit dem künstlichen Speichel zurückgesetzt zu werden.

Ein Übersichtsschema zur Darstellung des Versuchsaufbaus findet sich in Tabelle 2.

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Füllung und Schmelzplättchen, beide werden nicht fluoridiert</b>	<b>Füllung und Schmelzplättchen, nur die Füllung wird fluoridiert</b>	<b>Füllung und Schmelzplättchen, beide werden fluoridiert</b>
16 h Lagerung in 2,5ml künstlichem Speichel im Schüttelwasserbecken bei 37°C		
10 Sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter A	10 sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter B, C	
1 h Pellikelbildung, Beschicken der Schmelzplättchen mit humanem Speichel.		
10 Sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter A	10 sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter B, C	
	Entfernen des Schmelzplättchens, Aufbewahrung in Gefäß mit 2,5ml künstlichem Speichel	
	3 min Spülung in 100ppm NaF-Lösung auf dem Rüttler, Motorstufe 1 in Spülgitter B, C	
	10 sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter B, C	
	Wiederanbringen des Schmelzplättchens in den Gefäßdeckel	
8 h Lagerung in 2,5ml künstlichem Speichel in einem Schüttelwasserbecken		
10 Sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter A	10 sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter B, C	
	Entfernen des Schmelzplättchens, Aufbewahrung in Gefäß mit 2,5ml künstlichem Speichel	
	3 min Spülung in 100ppm NaF-Lösung auf dem Rüttler, Motorstufe 1 in Spülgitter B, C	
	Wiederanbringen des Schmelzplättchens in den Gefäßdeckel	
	10 sec. Spülung in Aqua dest. in Spülgitter B, C	
Erneuter Beginn des Zyklusses		

**Tabelle 2: Versuchsaufbau**

Die Probekörper von Gruppe A wurden nicht fluoridiert. Die Probekörper von Gruppe B und C hingegen wurden regelmäßig mit einer 100-ppm-Natriumfluoridlösung fluoridiert. Während dies für Gruppe C sowohl für die Glasionomermzement- als auch für die Schmelzareale zutrifft, wurden in Gruppe B nur die Glasionomermzementanteile fluoridiert. Hierzu wurden vor der Fluoridierung die Schmelzproben aus ihrer Verankerung im Lagergefäß entfernt, und nur die verbleibende Materialprobe wurde fluoridiert (Abb. 4). Später wurde die Schmelzprobe wieder in ihrer Position neben der Glasionomermzementprobe verankert.

Zur Fluoridierung wurden die Proben von Gruppe C sowie die Glasionomerzementanteile der Probekörper von Gruppe B in die Natriumfluoridlösung gebracht. Sie verblieben dort für 3 Minuten unter leichter Schwenkbewegung (Abb. 5). Danach wurden alle Proben 10 sec. mit Aqua dest. abgespült und in die bereitgestellten Röhrchen mit dem künstlichen Speichel zurücksortiert; die Schmelzproben der Gruppe B wurden wieder neben den Füllungen angebracht. Anschließend erfolgte die Lagerung der Proben in einem Schüttelwasserbad bei 37° Celsius und einer Schwenkbewegung von 17% bis zur nächsten Fluoridierung nach 8 Stunden am selben Tag.



**Abbildung 4: Zur Fluoridierung vorbereitete Gruppen im Spülgitter, links Gruppe B, rechts Gruppe C**



**Abbildung 5: Fluoridierung auf dem Rüttler**

Der oben dargestellte Versuchsablauf wurde über 28 Tage durchgeführt. Danach wurden die Halme mit den Schmelzplättchen von den Füllungen getrennt und in einer feuchten Kammer gelagert. Die Kontrollen wurden nicht behandelt und bis zu den Fluoridbestimmungen bei 6°C gelagert.

### **3.5. Fluoridbestimmung auf dem Schmelz**

Die Bestimmung erfolgte gemäß der von *Caslavska et al.* (1975) entwickelten Methode, die 1982 von *Dijkman* und Mitarbeitern modifiziert wurde. Fluorid reagiert mit oberflächlichen Schmelzanteilen zu der dem Schmelz aufgelagerten Kalziumfluoriddeckschicht. Im Gegensatz zum Schmelz löst sich Kalziumfluorid in alkalischen Lösungen. Deshalb ist es möglich, mit Kalilauge die Kalziumfluoride von der Schmelzoberfläche zu lösen und die Fluoridmenge zu bestimmen, ohne den Schmelz dabei zu schädigen.

Für die Fluoridbestimmung wurde jedes Schmelzplättchen (Proben und Kontrollen) jeweils in einen Kunststoffbecher mit 1,5 ml 1m Kalilauge gebracht. Die Proben standen dann für 24 Stunden in einem Schüttelwasserbad (Fa. GFL) bei einer Raumtemperatur von ca. 25°C. Nach 24 Stunden erfolgte die Neutralisation und Pufferung der Proben mit 1,5 ml 1m Salpetersäure und 1,5 ml 1m Trinatriumcitratlösung, welche nacheinander in die Kunststoffbecher pipettiert wurden.

Die Schmelzplättchen wurden danach kurz mit Aqua dest. abgespült und zur späteren Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids in einer feuchten Kammer aufbewahrt. Die Lagerung der Proben erfolgte bei 6°C.

Die Fluoridkonzentration der in Lösung gebrachten Kalziumfluoriddeckschicht wurde mit der Fluorid-Elektrode (Thermo Orion 9609BN) und einem Digital-pH/mV-Meter (Orion Research Inc.; Model 720A) bestimmt. Für die Messungen waren leichte Rührbewegungen durch einen Magnetrührer (IKAMAG, RCT) erforderlich. Jeweils nach 8 min wurde die Spannung in relativen Millivolt abgelesen. Die Messungen erfolgten bei einer Raumtemperatur von 26 Grad Celsius. Anhand einer zuvor

erstellten Eichkurve konnte die jeweilige Konzentration ( $F^-/ml$ ) der Proben abgelesen werden. Nach jeder 3. Messung erfolgte eine Kalibrierung der Elektrode mit der Eichlösung ( $0,1 \mu g F^-/ml$ ;  $78,0 mV$ ), um eine Verschiebung der Messwerte zu verhindern. Zusätzlich wurde an jedem Tag, an dem Messungen stattfanden, die Steilheit der Elektrode nach Herstellerangaben bestimmt.

Zur Herstellung der Eichlösungen wurden folgende Reagenzien angesetzt:

1. Fluoridstandardlösung  $25 \mu g F^-/ml = 55,275 mg NaF / 1000 ml$
2. 1 molare Kalilauge (KOH) =  $28,055 g (KOH\text{-Plättchen}) / 500 ml$
3. 1 molare Salpetersäure ( $HNO_3$ ) =  $34,6 ml 65\%ige HNO_3 / 500 ml$
4. 1 molare Trinatriumcitratdihydrat-Lösung =  $147,05 g / 500 ml$

Hieraus wurden verschieden konzentrierte Eichlösungen hergestellt (Tabelle 3):

Konzentration	Menge $F^-$ -Standard	Zusatz	Auffüllen auf 250 ml
$0,01 \mu g F^- / ml$	0,1 ml	80 ml KOH 80 ml $HNO_3$ 80 ml Trinatriumc.	9,9 ml Aqua bidest.
$0,02 \mu g F^- / ml$	0,2 ml	80 ml KOH 80 ml $HNO_3$ 80 ml Trinatriumc	9,8 ml Aqua bidest.
$0,05 \mu g F^- / ml$	0,5 ml	80 ml KOH 80 ml $HNO_3$ 80 ml Trinatriumc	9,5 ml Aqua bidest.
$0,10 \mu g F^- / ml$	1,0 ml	80 ml KOH 80 ml $HNO_3$ 80 ml Trinatriumc	9,0 ml Aqua bidest.
$0,50 \mu g F^- / ml$	5,0 ml	80 ml KOH 80 ml $HNO_3$ 80 ml Trinatriumc	5,0 ml Aqua bidest.
$1,00 \mu g F^- / ml$	10,0 ml	80 ml KOH 80 ml $HNO_3$ 80 ml Trinatriumc	0 ml Aqua bidest.

**Tabelle 3: Eichlösungen für die Bestimmung von Fluorid aus der Kalziumfluoriddeckschicht**

Diese Lösungen wurden jeweils mit 80 ml 1m Kalilauge, 80 ml 1m Salpetersäure, 80 ml 1m Trinatriumcitrat und Aqua bidest. auf 250 ml aufgefüllt. Von diesen

Eichlösungen wurden jeweils 4,5 ml in Kunststoffbecher zur Fluoridbestimmung gebracht.

Die Eichlösungen wurden ebenfalls mit der fluoridsensitiven Elektrode (Thermo Orion 9609BN) und dem Digital-pH/mV-Meter (Orion Research Inc.; Model 720A) gemessen. Dabei wurde jede Probe dreimal für 8 min gemessen. Für die Messungen waren leichte Rührbewegungen durch einen Magnetrührer (IKAMAG, RCT) erforderlich. Die Kalibrierung und Bestimmung der Steilheit der Elektrode erfolgten wie oben beschrieben.

Bei der auf halblogarithmischem Papier aufgezeichneten Eichkurve wurden auf die Abszisse die relativen mV gegen die Konzentration in  $\mu\text{g} / \text{F}^-$  auf der Ordinate aufgetragen.

Anhand der Eichkurve wurde der Fluoridgehalt der Proben in  $\mu\text{g} \text{F}^-/\text{ml}$  abgelesen. Dieser wurde mit dem Faktor 4,5 (entsprechend dem Volumen der Probe von 4,5 ml) multipliziert, um die gesamte in der Probe enthaltene Fluoridmenge zu bestimmen. Die Berechnung der Menge Fluorid pro Schmelzfläche ( $\mu\text{g} \text{F}^-/\text{cm}^2$ ) war mit folgender Gleichung möglich:

$$\text{Menge Fluorid pro cm}^2 \text{ Schmelz } (\mu\text{g} \text{F}^- / \text{cm}^2) = \frac{\mu\text{gF}^- \text{ der Lösung}}{\text{Plättchenlänge}(\text{cm}) \times \text{Plättchenbreite}(\text{cm})}$$

### 3.6. Fluoridbestimmung im Schmelz

Nach der Bestimmungsmethode für Fluorid im Schmelz (strukturell gebundenes Fluorid) nach *McCann* (1968) wird die Schmelzoberfläche mittels Perchlorsäure in einer Schicht abgeätzt. Die dabei in Lösung gegangenen Fluoridionen können dann mit der Fluoridelektrode bestimmt werden. Mit der Phosphatbestimmung lässt sich die abgeätzte Schmelzmenge bestimmen. Durch anschließende Berechnung kann der Fluoridgehalt im Schmelz ermittelt werden.

Zu Beginn wurden folgende Reagenzien angesetzt:

1. 0,5 molare Perchlorsäure = 43 ml 70-72% HClO<sub>4</sub> / 1000 ml Aqua bidest.
2. 0,5 molare Trinatriumcitratdihydrat-Lösung = 147,05 g Trinatriumcitrat / 1000 ml
3. 1 molare Trinatriumcitratdihydrat-Lösung = 294,10 g Trinatriumcitrat / 1000 ml
4. Fluoridstandardlösung 25 µg F<sup>-</sup>/ml= 55,275 mg NaF / 1000 ml

Um wiederum eine Eichreihe erstellen zu können wurden folgende Eichlösungen hergestellt (Tabelle 4):

Konzentration µg F <sup>-</sup> /5 ml	Menge F <sup>-</sup> - Standard	0,5m Per- chlorsäure	1m Trinatrium- citratdihydrat	Auffüllen mit Aqua bidest.
6,0	12,0 ml	50 ml	100 ml	Ad 250 ml (88 ml)
4,0	8,0 ml	50 ml	100 ml	Ad 250 ml (92 ml)
2,0	4,0 ml	50 ml	100 ml	Ad 250 ml (96 ml)
1,0	2,0 ml	50 ml	100ml	Ad 250 ml (98 ml)
0,5	2,0 ml	100 ml	200 ml	Ad 500 ml (198 ml)
0,25	0,5 ml	50 ml	100 ml	Ad 250 ml (99,5 ml)
0,125	0,5 ml	100 ml	200 ml	Ad 500 ml (199,5 ml)
0,05	0,2 ml	100 ml	200 ml	Ad 500 ml (199,8 ml)

**Tabelle 4: Eichlösungen für die Bestimmung von strukturell gebundenem Fluorid**

Im Folgenden wurden die Eichlösungen beginnend mit der niedrigsten Konzentration mit der Elektrode gemessen. Dabei wurde jede Probe dreimal für 8 Min. gemessen. Für die Messungen wurden wiederum leichte Rührbewegungen durch einen



Magnetrührer durchgeführt. Anhand der Mittelwerte der einzelnen Konzentrationen wurde die Eichkurve erstellt. Diese wurde halblogarithmisch aufgetragen: die Fluoridkonzentration ( $\mu\text{g F}^-/5 \text{ ml}$ ) semilogarithmisch und die Potentialdifferenz (rel. mV) dekadisch.

Um die oberflächliche Schmelzschicht abzulösen, wurden die Schmelzproben genau 60 Sekunden in 1 ml 0,5 m Perchlorsäure in einem Kunststoffbehälter geschwenkt. Sofort nach Ablauf der 60 Sekunden wurde das Schmelzplättchen mit 4 ml 0,5 m Trinatriumcitratdihydrat-Lösung abgespült. Dadurch stoppte die Reaktion, die Lösung wurde neutralisiert und war zur weiteren Fluorid- und Phosphatbestimmung vorbereitet.

Die Fluoridbestimmung der Proben erfolgte wiederum in der bereits mehrfach beschriebenen Weise mittels der Fluoridelektrode.

Die Schmelzmenge, die durch die Perchlorsäure abgeätzt wurde, war durch die Größenvarianz der Schmelzplättchen unterschiedlich. Um das in Lösung gegangene Schmelzvolumen zu berechnen, wurde die abgeätzte Phosphatmenge bestimmt, da die Phosphatkonzentration im Schmelz sehr konstant ist. Die Phosphatbestimmung erfolgte nach der Methode von *Lowry et al.* (1954).

Dafür wurde zunächst eine weitere Eichreihe erstellt. Hierzu wurden folgende Lösungen zubereitet:

1. Phosphatstandardlösung  $100 \mu\text{g P/ml} = 219,6 \text{ mg KH}_2\text{PO}_4$   
(Kaliumhydrogenphosphat) in 500 ml Aqua bidest.  
Verdünnung Phosphatstandard 1:10 (=10  $\mu\text{g P/ml}$ )  
Verdünnung Phosphatstandard 1:5 (=20  $\mu\text{g P/ml}$ )
2. 0,5 molare Perchlorsäure
3. 0,5 molare Trinatriumcitratdihydrat-Lösung
4. Mischung aus 20% Perchlorsäure und 80% Trinatriumcitratdihydrat-Lösung  
(=“Gemisch“)

Konzentration µg P/ml	P-Standard	Aqua bidest.	+0,2 ml Gemisch
1	0,1 ml 1:10	0,7 ml	
2	0,2 ml 1:10	0,6 ml	
5	0,5 ml 1:10	0,3 ml	
7	0,7 ml 1:10	0,1 ml	
10	0,5 ml 1:5	0,3 ml	

**Tabelle 5: Verdünnungen Phosphat-Standard**

Diese Verdünnungen wurden in Photometerküvetten (Ratiolab, Mikroküvetten Nr. 1201) in einem Spektralphotometer (Dr. Lange, CADAS 100) bei einer Wellenlänge von 578 nm gegen den Reagenzienblindwert gemessen. Beim Auftragen der Extinktion gegen den Phosphatgehalt ergibt sich eine lineare Korrelation, aus der sich eine Gleichung zur Berechnung des Phosphatgehalts der Proben ermitteln lässt.

Für die Phosphatbestimmung der abgeätzten Schmelzproben wurden folgende Reagenzien erstellt:

1. Veraschungsgemisch: 278 ml konz.  $H_2SO_4$  ( $d=1,84$ )  
65 ml 70%  $HClO_4$  ( $d=1,67$ )  
auf 1000 ml mit Aqua bidest. aufgefüllt
2. mind. 65%  $HNO_3$
3.  $NH_4$ -Molybdatreagenz 10,62g  $NH_4$ -Molybdat $\cdot 4H_2O$   
90,20g  $CH_3COONa\cdot 3H_2O$  (Natriumacetat)
4. Die 10%ige Ascorbinsäure wurde im Versuchsverlauf bei Bedarf jeweils frisch angesetzt.

Nach der Messung der Fluoridkonzentration wurden den Proben für die Phosphatbestimmung jeweils 0,2 ml entnommen. Dazu kamen 0,5 ml Veraschungsgemisch. Die Proben wurden zunächst 60 Min. bei 120°C und anschließend 90 Min. bei 160°C in einem Veraschungsblock (Liebisch) verascht. Der gesamte Vorgang der Veraschung erfolgte unter dem Abzug. Nun wurden jeder Probe 2 Tropfen  $HNO_3$  dazugegeben, und es wurde weitere 60 Min. bei 160°C verascht. Nach dem Abkühlen wurden zu jeder Probe 0,5 ml Aqua bidest.

hinzupipettiert. Die Proben kamen nun für 10 Min. in ein kochendes Wasserbad. Währenddessen wurde 4 g Ascorbinsäure ad 40 ml Aqua bidest. frisch angesetzt und nach Abkühlen der Proben zu 400 ml NH<sub>4</sub>-Molybdatreagenz gegeben. Jeder Probe wurden nun 5 ml hiervon dazugegeben, auf einem Rüttler gut durchgemischt und für eine Stunde in ein 37°C warmes Schwenkwasserbad gesetzt.

Danach erfolgte die sofortige Bestimmung des Phosphatgehalts der Proben in einem Spektralphotometer bei einer Wellenlänge von 578 nm gegen den Reagenzienblindwert.

Die Berechnung des Phosphatgehalts erfolgte mittels der aus der Eichkurve ermittelten Formel:

$$m_{\text{Phosphat}}[\mu\text{g}] = \frac{\text{Extinktion} - 0,000909}{0,039118} \mu\text{g}$$

Nach Untersuchungen von *Armstrong und Brekhus* (1937) enthält der Zahnschmelz einen Anteil von 17,45% Phosphat. Um die abgeätzte Masse der Schmelzplättchen zu berechnen ergibt sich die Formel:

$$m_{\text{Schmelz}} = m_{\text{Phosphat}} \cdot \frac{100}{17,5}$$

Daraus ergibt sich für die Fluoridkonzentration im Schmelz:

$$\begin{aligned} \frac{m_{\text{Phosphat}}}{m_{\text{Schmelz}}} &= \frac{m_{\text{Fluorid}} * 17,45\%}{m_{\text{Phosphat}} * 100\%} \Rightarrow \text{ppmFluorid} \\ &= \frac{\mu\text{gFluorid} * 10^6}{\mu\text{gSchmelz}} = \frac{\mu\text{gFluorid} * 17,45\% * 10^6}{\mu\text{gPhosphat} * 100\%} = \frac{\mu\text{gFluorid} * 17,45 * 10^4}{\mu\text{gPhosphat}} \end{aligned}$$

Mit Hilfe der Dichte des Schmelzes ( $\rho_{\text{Schmelz}} = 3,1 \text{ mg/mm}^3$ ) und der ausgemessenen Fläche der Schmelzproben  $A_{\text{Plättchen}}$  wurde ferner die Ätztiefe  $h$  bestimmt.

$$\text{Es gilt: } \text{Volumen} = \frac{m}{\rho}$$

$$\rightarrow h = \frac{m_{\text{Schmelz}}}{\rho_{\text{Schmelz}} * A_{\text{Plättchen}}}$$

$$\rightarrow h = \frac{m_{\text{Phosphat}} * 1,8486 \frac{\text{mm}^3}{\text{mg}}}{A_{\text{Plättchen}}[\text{mm}^2]}$$

Zum Abschluss wurden die Differenzen aus den Fluoridwerten für die Test-Schmelzplättchen und die Kontroll-Schmelzareale errechnet, um letztlich die genaue Fluoridaufnahme nach 28 Tagen bestimmen zu können.

### 3.7. Statistik

Für alle Versuchsreihen wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung der Fluoridaufnahme errechnet. Zum statistischen Vergleich mehrerer Versuchsreihen wurden parameterfreie Tests herangezogen. Parameterfreie Tests überprüfen Hypothesen über Werte, für die eine zugrunde liegende Verteilung nicht bekannt ist. Diese Tests basieren auf einer Rangfolge der Einzelmesswerte, um festzustellen, ob eine Gruppe größere Rangwertsummen hat. Der Vergleich der Fluoridmenge auf und im Schmelz von Test- und Kontrollplättchen erfolgte mit dem Wilcoxon-Test. Dieser Test wird für verbundene Stichproben angewendet und ist hier angezeigt, da Test- und Kontrollplättchen durch die Herkunft aus einem gleichen Ursprungszahn verbunden sind.

Zur Überprüfung der Fluoridgehalte in den unterschiedlichen Gruppen wurde zum einen der Kruskal-Wallis-Test herangezogen. Auch der Kruskal-Wallis-Test ist ein parameterfreier Test. Die Auswertung erfolgt auf alle Untersuchungsgruppen

bezogen und überprüft die Hypothese, ob zwei oder mehrere Gruppen die gleiche Verteilung aufweisen gegen die Alternative, dass wenigstens eine dieser Gruppen eine andere Verteilung der Rangsumme aufweist.

Statistisch signifikante Differenzen zwischen jeweils zwei Messgruppen wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests berechnet. Aus der Größe des Unterschieds zwischen den Rangsummen der Messreihen wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der die beobachtete Differenz das Ergebnis zufälliger Ereignisse ist (Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$ ).

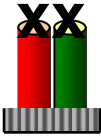
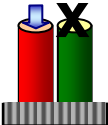
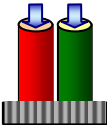
Zur Feststellung signifikanter Differenzen muss die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  einen Wert von  $\alpha=0,05$  unterschreiten. Bei Unterschreitung eines Wertes von  $\alpha=0,001$  werden hochsignifikante Differenzen festgestellt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS vs.11.5 (SPSS Inc.).

## 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse stellen den Fluoridgehalt und die Fluoridaufnahme im und auf dem Zahnschmelz nach 28-tägiger Versuchsdauer in Form von Tabellen und Graphiken dar. Zunächst soll die Fluoridaufnahme in den Versuchsgruppen durch den Vergleich des Fluoridgehaltes bzw. der Fluoridmenge in und auf dem Schmelz von Test- und Kontrollplättchen dargestellt werden. Anschließend werden die Fluoridaufnahmen in den Untersuchungsgruppen untereinander verglichen. Auch diese Überprüfung erfolgt sowohl für KOH-lösliches Fluorid auf dem Schmelz ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) als auch für strukturell gebundenes Fluorid im Schmelz (ppm). Schließlich sollen die Ätztiefen der Proben wie auch der Kontrollen auf statistische Übereinstimmung überprüft werden.

Zum erleichterten Verständnis der Ergebnisse sei nochmals das unterschiedliche experimentelle Vorgehen in den Gruppen A bis C skizziert (Tabelle 6):

A	B	C
<p><b>Glasionomerzement und Schmelzplättchen zusammen fixiert, beide werden nicht fluoridiert</b></p> 	<p><b>Glasionomerzement und Schmelzplättchen trennbar angebracht, nur der Glasionomerzement wird fluoridiert</b></p> 	<p><b>Glasionomerzement und Schmelzplättchen werden beide fluoridiert</b></p> 

**Tabelle 6: Fluoridierungsschema Gruppe A - C**

### 4.1. Ausgangs- und Endfluoridgehalt der Schmelzproben

In Tabelle 7 und 8 sind Mittelwerte und Standardabweichung der auf- und eingelagerten Fluoridgehalte der Schmelzproben zu Beginn (Kontrollplättchen) und nach Beendigung (Testplättchen) der experimentellen Phase für die Gruppen A bis C dargestellt (jeweils  $n = 10$ ). Es ist ersichtlich, dass die Fluoridgehalte in Gruppe A zu Versuchsbeginn höher waren als die in den übrigen Gruppen. Der Fluoridgehalt der Gruppe A war allerdings nicht signifikant gegenüber den anderen Gruppen erhöht.

Zum Versuchsende war der Fluoridgehalt in allen Gruppen angestiegen. Dabei hatte Gruppe C die größten Zugewinne und Gruppe A die geringsten. Der Kruskal-Wallis-Test ergab eine signifikante Zunahme der Fluoride auf und im Schmelz. Dabei erwies sich der Fluoridzugewinn auf dem Zahnschmelz in Gruppe B und C als signifikant und im Zahnschmelz in allen drei Gruppen als ebenfalls signifikant (Tabelle 7 und 8).

	Kontrollplättchen ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Testplättchen ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Fluoridzugewinn ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Irrtumswahr- scheinlichkeit p (Wilcoxon)
Gruppe A	$0,29 \pm 0,09$	$0,42 \pm 0,17$	$0,12 \pm 0,20$	0,114
Gruppe B	$0,21 \pm 0,08$	$0,44 \pm 0,27$	$0,23 \pm 0,27$	0,017
Gruppe C	$0,24 \pm 0,07$	$0,75 \pm 0,40$	$0,50 \pm 0,44$	0,005
Irrtumswahr- scheinlichkeit p (Kruskal-Wallis)	0,125	0,023	0,035	-----

**Tabelle 7: Oberflächlicher Fluoridgehalt und Fluoridanreicherung auf den Schmelzplättchen**

	Kontrollplättchen (ppm)	Testplättchen (ppm)	Fluoridzugewinn (ppm)	Irrtumswahr- scheinlichkeit p (Wilcoxon)
Gruppe A	$1145 \pm 450$	$1629 \pm 381$	$484 \pm 307$	0,005
Gruppe B	$869 \pm 291$	$1444 \pm 616$	$575 \pm 467$	0,005
Gruppe C	$895 \pm 407$	$2089 \pm 767$	$1194 \pm 923$	0,007
Irrtumswahr- scheinlichkeit p (Kruskal-Wallis)	0,229	0,073	< 0,001	-----

**Tabelle 8: Strukturell gebundenes Fluorid und Fluoridanreicherung in den Schmelzplättchen**

In Abbildungen 6 und 7 wird der Fluoridzugewinn auf und im Zahnschmelz der drei Untersuchungsgruppen graphisch dargestellt.

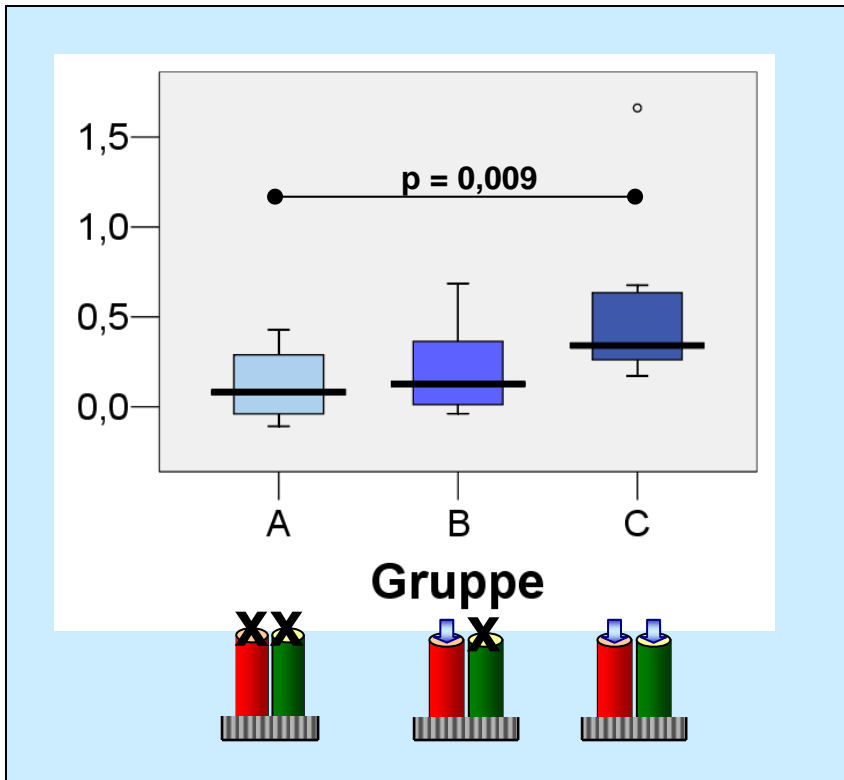


Abbildung 6: Zunahme aufgelagerten Fluorids ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) in Gruppe A – C nach 28 Tagen

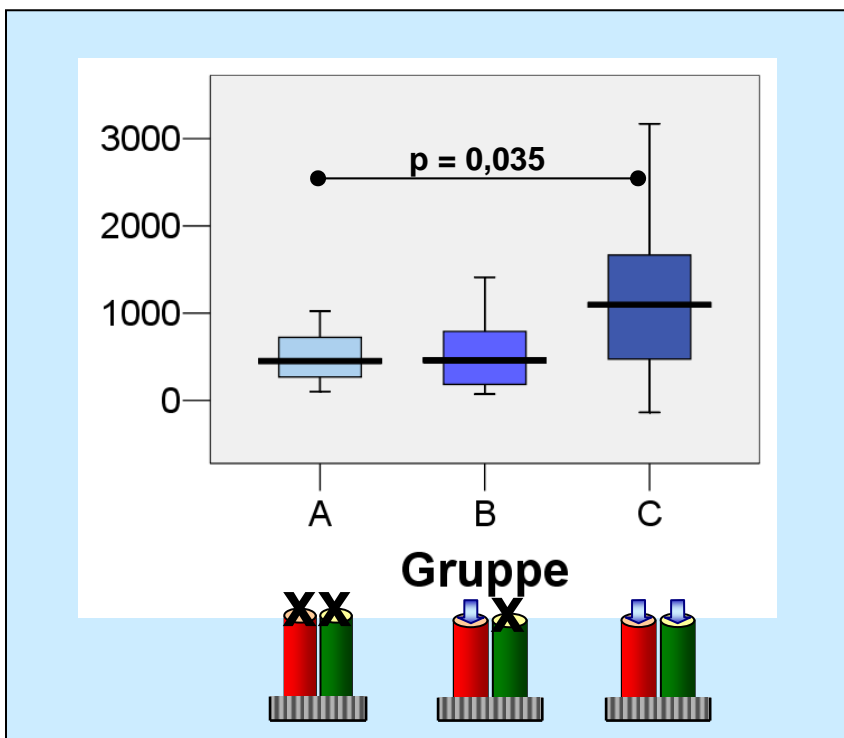


Abbildung 7: Zunahme strukturell gebundenen Fluorids (ppm) in Gruppe A – C nach 28 Tagen



Wie sich aus den Tabellen 7 und 8 und Abbildungen 6 und 7 erkennen lässt, gab es in den Gruppen A, B und C jeweils einen Zugewinn an oberflächlichem und gebundenem Fluorid. Dabei hat die Gruppe C, in der sowohl Füllung als auch Schmelzplättchen fluoridiert wurden, sowohl bezüglich aufgelagertem als auch gebundenem Fluorid den größten Zugewinn. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,005$  bzw. und  $p = 0,007$  sind diese Zunahmen an Fluorid signifikant.

Bei Gruppe B, in der nur die Glasionomermessprobe fluoridiert wurde, gab es ebenfalls einen signifikanten Zugewinn an oberflächlichem Fluorid ( $p = 0,017$ ) wie auch an gebundenem Fluorid ( $p = 0,005$ ). Auch in Gruppe A hatten die Testplättchen einen Zugewinn an aufgelagertem Fluorid. Dieser war allerdings nicht signifikant von den Kontrollplättchen unterschieden ( $p = 0,114$ ). Die Zunahme an gebundenem Fluorid hingegen war auch in Gruppe A signifikant ( $p = 0,005$ ).

Anschließend wurde mittels des Kruskal-Wallis-Test ermittelt, ob es signifikante Unterschiede bezüglich der Zugewinne der oberflächlichen und gebundenen Fluoride zwischen den Gruppen gab. Danach wurden die Unterschiede der einzelnen Gruppen paarweise zueinander mittels des Mann-Whitney-Tests analysiert.

Während bei den Kontroll-Schmelzproben keine statistisch signifikanten Unterschiede bestanden, konnten für die Testplättchen nach 28 Tagen bezüglich aufgelagertem Fluorid statistisch signifikante Differenzen zwischen den Untersuchungsgruppen ( $p = 0,023$ ) und bezüglich eingelagertem Fluorid auffällige Differenzen ( $p = 0,073$ ) nachgewiesen werden. Die Fluoridzugewinne der drei Gruppen waren signifikant (aufgelagertes Fluorid,  $p = 0,035$ ) bzw. hochsignifikant (strukturell gebundenes Fluorid,  $p < 0,001$ ) unterschiedlich.

Im paarweisen Gruppenvergleich war die Zunahme in Gruppe C an oberflächlichem wie auch eingelagertem Fluorid gegenüber dem Fluoridzugewinn in Gruppe A signifikant erhöht ( $p = 0,009$  und  $p = 0,035$ ). Die übrigen Vergleiche zeigten keine signifikanten Differenzen (Tabelle 9, Abbildungen 6 und 7).

Paarweiser Gruppenvergleich	Irrtumswahrscheinlichkeit p (Mann-Whitney-Test)	
	Aufgelagertes Fluorid	Eingelagertes Fluorid
Gruppe A zu Gruppe B	p=0,393	p=0,912
Gruppe A zu Gruppe C	p=0,009	p=0,035
Gruppe B zu Gruppe C	p=0,089	p=0,089

**Tabelle 9: Paarweiser Vergleich der Fluoridzugewinne auf dem und im oberflächlichen Milchzahnschmelz nach 28 Tagen**

#### 4.2. Ätztiefen

Tabelle 10 zeigt die durchschnittlichen Ätztiefen in den Kontroll- und den Testplättchen. Alle Kontrollplättchen wiesen eine tiefere Ättschicht auf als die Testplättchen. Sie schwanken für die Testplättchen zwischen 1,55 µm und 1,81 µm; für die Kontrollplättchen zwischen 1,95 µm und 2,23 µm.

	Ätztiefe (µm) Kontrollplättchen	Ätztiefe (µm) Testplättchen	p (Wilcoxon-Test)
Gruppe A	1,95 ± 0,25	1,55 ± 0,33	p = 0,013
Gruppe B	2,12 ± 0,41	1,81 ± 0,26	p = 0,059
Gruppe C	2,23 ± 0,39	1,56 ± 0,35	p = 0,005

**Tabelle 10: Ätztiefen der Kontrollplättchen und der Testplättchen**

Mittels des Wilcoxon-Tests wurde gezeigt, dass die Unterschiede zwischen den Ätztiefen der Kontroll- sowie der Testplättchen teilweise signifikant unterschiedlich waren (Tabelle 10). Demnach war die Ätztiefe der Kontrollplättchen in den Gruppen A und C signifikant größer als die der Testplättchen. Auch in Gruppe B waren die Ätztiefen der Kontrollplättchen gegenüber den Testplättchen auffällig höher.

## 5 Diskussion

Fluorid ist der wichtigste Pfeiler der Kariesprophylaxe (Gülzow 1995). Eine besonders große Rolle spielt dabei die fluoridhaltige Zahnpasta, welche Fluorid in verschiedenen chemischen Verbindungen enthält. Für den Großteil der Bevölkerung sichert diese Fluoridquelle die regelmäßige Zufuhr von Fluoriden (Hellwig et al. 1999).

Dank der Prophylaxe ist die Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen insgesamt zwar stark rückläufig, eine Minderheit jedoch, welche ein hohes Kariesrisiko auf sich vereint, wird von den Prophylaxebemühungen nicht erreicht (Gülzow et al. 1996, Gülzow und Farshi 2000, Schiffner 2006a). Zudem ist nach wie vor auch bei den Erwachsenen eine starke Karieserfahrung anzutreffen (Schiffner 2006b). Ein Großteil dieser Karieserfahrung liegt zwar als restaurierte Läsion vor, doch ist diese dem Risiko von Sekundärkaries ausgesetzt.

Durch Fluorid in zahnärztlichen Füllungswerkstoffen soll das Risiko der Entstehung einer Sekundärkaries gesenkt werden. Glasionomerezemente zeichnen sich durch eine kurzfristig hohe Fluoridabgabe aus, die durch „Wiederaufladung“ mit Fluorid wieder erhöht werden kann. Dadurch können Glasionomerezementfüllungen über längere Zeiträume eine Fluoridquelle darstellen (Koch und Hatibovic-Kofmann 1990), welche die Kariesentstehung in der Füllungsumgebung hemmt (Hatibovic-Kofmann 1997).

Mit der vorliegenden In-vitro-Studie sollte untersucht werden, inwieweit die aus einem Glasionomerezement stammende Erhöhung der Fluoridkonzentration in und auf benachbartem Milchzahnschmelz durch regelmäßiges „Wiederaufladen“ des Füllungsmaterials mit Fluorid gesteigert werden kann. Zugleich sollte beurteilt werden, in welchem Maße die der Wiederaufladung folgende Erhöhung der Fluoridaufnahme gegenüber einer direkten Fluoridaufnahme aus der aufladenden Fluoridquelle ins Gewicht fällt.

## 5.1. Diskussion der Methodik

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurden klinische Parameter der menschlichen Mundhöhle soweit wie möglich berücksichtigt. So wurden die Mundhöhlenparameter Speichel, Pellikel, Temperatur, Fluorid-Konzentration eines Speichel-Kinderzahnpaste-Gemisches und die durchschnittliche Putzdauer in der Versuchsanordnung simuliert. Für die Durchführbarkeit der Studie konnte eine noch weiter gehende vollständige Simulation der Mundhöhlenbedingungen jedoch nicht umgesetzt werden. Ob und inwieweit die Ergebnisse hiervon beeinflusst werden, lässt sich nicht abschätzen.

Die Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerzement wurde bisher schon von vielen Autoren untersucht. Lagerungsmedium für diese Untersuchungen war häufig demineralisiertes Wasser (*Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Forsten 1991 und 1995, Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Attin et al. 1999*). Bekannt ist jedoch, dass die Fluoridabgabe aus Glasionomerzementen im Lagerungsmedium Wasser nicht der oralen Situation entspricht. In Untersuchungen zu dieser Problematik konnte gezeigt werden, dass die Fluoridabgabe bei dem Lager- und Versuchsmedium „künstlicher Speichel“ deutlich geringer war (*El Mallakh und Sarkar 1990, Glockmann et al. 1997, Hattab und Amin 2001, Saul 2002*).

In einer weiteren Studie zu dieser Thematik zeigte *Regel (2003)*, dass sowohl Speichelionen als auch Proteine des Speichels die Fluoridfreisetzung aus einer Glasionomerzementfüllung reduzieren. Die Beschickung von Zementproben mit humanem Speichel allein reduziert die Fluoridabgabe der Füllungsmaterialien. So kann durch das Pellikel eine Reduktion von bis zu 74% gegenüber der Abgabe von Fluorid in demineralisiertem Wasser auftreten (*Damen et al. 1996*). Auch der Wiederaufladeeffekt einer Glasionomerzementfüllung ist durch das Pellikel und durch künstlichen Speichel negativ beeinflusst; die Fluoridkinetik wird gehemmt (*Regel 2003*).

In der vorliegenden Studie sind die Kenntnisse zur Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen berücksichtigt worden, indem im Versuchsmedium künstlicher Speichel gearbeitet wurde und ein Pellikel aus humanem Speichel geschaffen wurde.

Die Simulation der Mundhöhlenbedingungen konnte dennoch nicht vollständig erzielt werden. Eine Lagerung der Proben in humanem Speichel war nicht möglich, da die benötigte Speichelmenge zu groß gewesen wäre.

Die Bildung des Pellikel erfolgte aus gepooltem humanen Speichel täglich für eine Stunde auf den Schmelz- wie auch auf den Füllungsproben. Die täglich neue Pellikelbildung erfolgte auf Grund von Abbauvorgängen im Pellikel (*Hanning 1994a, Damen et al. 1996*). Für die Fluoridfreisetzung in den künstlichen Speichel aus den Glasionomerzementfüllungen blieben somit nach der Pellikelbildung pro Tag insgesamt 23 Stunden.

Die Bildung eines Pellikels geht in vivo sehr schnell vonstatten, bereits nach wenigen Sekunden setzt die Adsorption von Speichelproteinen an den Festkörperoberflächen des Zahnes ein (*Hanning 1994b*). Innerhalb der ersten Stunde nehmen die sauren, prolinreichen Proteine zu; diese sind obligater Bestandteil des Pellikels (*Hanning 1994a*). In vitro gebildete Pellikel sind nach einer Stunde in der Ultrastruktur stabil. Es kann daher angenommen werden, dass das nach einer Dauer von täglich einer Stunde gebildete experimentelle Pellikel dem oral gebildeten Pellikel hinreichend entspricht.

Über den Einfluss des Pellikels auf die Kalziumfluorid-Deckschicht besteht Uneinigkeit. So zeigen die Ergebnisse von *Cruz und Rölla (1991)*, dass ein künstlich erzeugtes Pellikel bei neutralem pH-Wert keinen Einfluss auf die Präzipitation von KOH-löslichem Fluorid hat. Allerdings waren Schmelzproben mit und ohne Pellikel mit der sehr hohen Fluoridkonzentration einer 2%igen Natriumfluoridlösung (= 20000 ppm) behandelt worden. *Larsen und Richards (2001)* stellten hingegen fest, dass in Anwesenheit von Speichel mehr Kalziumfluorid auf der Schmelzoberfläche entsteht als im Versuchmedium Wasser.

*Petzhold (2001)* fand bei Touchierung von Schmelzproben mit einer 0,1% NaF-Lösung nach 2 Min. in destilliertem Wasser keine Präzipitation einer Kalziumfluoriddeckschicht. *Ten Cate (2003)* beschreibt, dass die Kalziumfluoriddeckschicht in Wasser schneller in Lösung geht und nicht so stabil ist wie in Speichel.

Bekannt ist, dass die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement nicht nur abhängig vom Lagermedium, sondern auch vom pH-Wert ist. Die Fluoridabgabe ist in sauren Medien erhöht (*Forsten* 1991 und 1995, *Saul* 2002). Für diese Studie wurde der pH-Wert 6,9 gewählt, weil das dem durchschnittlichen pH-Wert des Ruhespeichels entspricht. Dieser pH-Wert soll als „neutral“ betrachtet werden und die orale Ruhesituation simulieren. Abweichend von der klinischen Situation, nämlich dem regelmäßigen Schlucken des Speichels und der damit verbundenen Entfernung freigesetzter Fluoridmengen aus der Mundhöhle, wurde in dieser Studie nur zweimal innerhalb von 24 Stunden der künstliche Speichel erneuert. Das bedeutet letztlich, dass zum Ende eines Zyklusses eine leicht erhöhte Fluoridkonzentration auf die Proben wirken konnte. Da alle Proben unter den gleichen experimentellen Bedingungen bezüglich des Speichelaustausches behandelt wurden, bleiben die Vergleiche zwischen den Untersuchungsgruppen von der Schluckproblematik in vivo unberührt und können somit verglichen werden.

Die durchschnittliche Zahnpflegedauer wurde mit zweimal täglich 3 Minuten simuliert. Die Proben wurden deshalb zweimal täglich in regelmäßigem Abstand in eine Natriumfluoridlösung getaucht. Ob die durchschnittliche Zahnputzdauer bei Kindern tatsächlich 3 Minuten ausmacht, ist zweifelhaft (*Saxer et al.* 1998, *Davies et al.* 2003). Hier wurde von einer idealisierten Annahme ausgegangen, um in einer kurzen Versuchszeit messbare Ergebnisse zu erhalten.

Die Natriumfluoridlösung für den täglichen Spülvorgang war in Anlehnung an Ergebnisse zur Verdünnung von Zahnpasten während des Putzens bei Erwachsenen, die eine Verdünnung durch den Speichel im Verhältnis 1:4 aufgezeigt hatten (*Fischer* 2001), mit 100 ppm angesetzt worden, da Kinderzahnpasten 500 ppm Fluorid enthalten.

Auch bei Verdünnung einer Zahnpasta mit einem Fluoridgehalt von 250 ppm wurden „recharging“-Effekte bei konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzementen beobachtet (*Hatibovic-Kofman und Koch* 1991). Sogar bei einer 50-ppm-Fluoridlösung ist ein Wiederaufladungseffekt nach einer einwöchigen Touchierung bei konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzementen erzielt worden

(Forsten 1995). Daher kann die untersuchte Fragestellung prinzipiell mit einer 100-ppm-Lösung überprüft werden.

Bei dem experimentellen Vorgehen konnten weder die Einwirkungen einer Zahnpaste oder einer Zahnbürste, die unterschiedliche Speichelmenge, die sich bei Tag und Nacht unterscheiden, noch die Simulation eines Säureangriffs berücksichtigt werden. Zur Standardisierung der experimentellen Bedingungen und zur praktikablen Durchführung der Studie wurde auf diese Aspekte verzichtet.

Mit der vorliegenden Studie sollten keine Angaben über die Fluoridfreisetzung aus Glasionomercement gemacht werden, sondern es interessierte, welche Auswirkungen die Fluoridabgabe aus dem Füllungsmaterial im Vergleich zum direkten Einwirken einer Natriumfluoridlösung auf die Fluoridanreicherung in und auf Zahnschmelz hat. Die Materialproben wurden daher standardisiert in enge räumliche Beziehung zu Schmelzproben gebracht, um die Situation „Füllung im Zahn“ oder „Füllung im Nachbarzahn“ möglichst gut zu imitieren, dennoch aber eine experimentelle Trennung der Materialprobe und der Schmelzprobe zu ermöglichen.

Die Beschaffung des Zahnmaterials stellte sich als schwierig dar. Um überhaupt eine ausreichende Anzahl kariesfreier, exfolierter Milchzähne zu erhalten, wurden alle Zahnarten von Kindern unterschiedlichen Alters akzeptiert. Das heißt, dass starke Variationen im Probandenalter, Abrasionsgrad der Zähne, in Ernährungs- und Putzgewohnheiten und in der Exposition gegenüber Fluoriden anzunehmen sind. Außerdem wurden die Schmelzplättchen häufig aus den lingualen und palatinalen Flächen der Milchzähne herausgetrennt und dienten jeweils als Versuchspaar. Diese unterschiedliche Ursprungslage kann, wie auch die oben genannten Parameter, einen Einfluss auf den unterschiedlichen Ausgangsfluoridgehalt gehabt haben (Gedalia 1964). Des Weiteren wurde nicht berücksichtigt, ob die Geburtslinie des Zahnes durch die Schmelzproben verlief. Dabei handelt es sich um eine Demineralisationszone, die um den Zeitpunkt der Geburt im Zahn entsteht und den pränatal vom postnatal gebildeten Schmelz abgrenzt. Da diese Bereiche unterschiedlich mineralisiert sind, wäre es von Vorteil gewesen, diesen Teil des Schmelzes nicht für die Untersuchungen heranzuziehen (Künzel und Schaper 1985, Niibu et al. 1991). Allerdings wurden sämtliche Schmelzproben auf die gleiche Weise

gewonnen, so dass die Vergleiche zwischen den Untersuchungsgruppen hiervon nicht betroffen sein sollten.

Für weitere Untersuchungen an Milchzähnen wäre es wünschenswert, grundsätzlich nur eine Zahnform, d.h. zum Beispiel die hinteren Milchmolaren, zu verwenden. So könnte mit nur einer Zahnart eine größere Homogenität innerhalb der Gesamtgruppe erzeugt werden. Das primäre Ziel der Studie aber war eine Bewertung der Fluoridaufnahme in Zahnschmelz. Nicht bekannt ist, ob unterschiedliche Ausgangsfluoridgehalte einen Einfluss auf die in der Untersuchung aufgezeigte Fluoridaufnahme in den Schmelz bzw. die Fluoridanlagerung auf die Schmelzoberfläche haben können. Die Möglichkeit, die Ergebnisse vor dem Hintergrund der Literaturlage stimmig diskutieren zu können (siehe weiter hinten), deutet auf einen zu vernachlässigenden Einfluss hin.

Die Verwendung der Fluorid-Elektrode stellt ein verbreitetes Vorgehen der Fluoridbestimmung dar (*Lindahl* 1983). Wenn die Elektrode nach Herstellerangaben eingesetzt wird, liefert sie zuverlässige Ergebnisse. Die fluoridionensensitive Elektrode (Thermo Orion 9609 BN), die für die Untersuchung benutzt wurde, ist, trotz regelmäßiger Kalibrierung und Eichung der Elektrode, ab sehr geringen Fluoridkonzentrationen nicht mehr in der Lage, exakte Messergebnisse zu liefern. Folglich trägt diese Ungenauigkeit der Elektrode zu ungenauen Ergebnissen bei der Fluoridbestimmung in Bereichen mit sehr geringen Konzentrationen bei. Da in dieser Studie mit unterschiedlichen Parametern gearbeitet wurde, die die Fluoridein- bzw. -anlagerung in bzw. auf den Zahnschmelz und auch die Abgabe aus der Füllung hin zu geringeren Konzentrationen beeinflussen, muss diese Messungenauigkeit in Kauf genommen werden. Allerdings zeigen die Einzelmesswerte, dass dies wahrscheinlich nur bei einzelnen Proben der Fall war.

Die Studiendauer von 28 Tagen umfasst den Zeitraum der initial hohen Fluoridfreisetzung aus Glasionomermaterial und der danach folgenden, stetig geringer werdenden Fluoridabgabe bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich die Abgabe aus dem Füllungsmaterial nur minimal ändert (*Schiffner und von Bröckel* 1999). Es sind frische Füllungsmaterial-Proben für die Versuchsanordnung verwendet worden. Deshalb sollten aus der Studie gezogene Schlussfolgerungen über die Aufnahme



von Fluorid aus Glasionomerzementfüllungen in den Zahnschmelz auch nur auf solche bezogen werden.

### **Ausgangsfluoridgehalt**

Der Ausgangsfluoridgehalt der Kontrollplättchen lag bei einer Schichttiefe von 1,9 - 2,2  $\mu\text{m}$  bei 869 - 1145 ppm Fluorid.

Der Fluoridgehalt von Milchzahnschmelz variiert unter anderem abhängig von der Fluoridzufuhr. So spielt schon die Ernährung von Geburt an eine große Rolle für den Fluoridgehalt der Milchzähne. *Ericsson* (1973) fand, dass der Schmelz von Kindern, die mit Babynahrung aus dem Fläschchen gefüttert wurden, ca. zwei bis dreimal mehr Fluorid enthielten als der Schmelz von Kindern, die gestillt wurden.

Der Fluoridgehalt im Milchzahnschmelz hängt vom Fluoridgehalt des Trinkwassers ab. *Mellberg et al.* (1973) fanden in einer Schmelz-Schichttiefe von 5  $\mu\text{m}$  einen Fluoridgehalt von 733 ppm, wenn das Trinkwasser wenig Fluorid enthielt (< 0,1 ppm). In Gegenden mit Trinkwasserfluoridierung (1,0 ppm) lag der Fluoridgehalt im Schmelz in der gleichen Schichttiefe bei durchschnittlich 946 ppm. Bei *Hargreaves* (1967) variierten die Ergebnisse von 300 ppm Fluorid im Milchzahnschmelz (30  $\mu\text{m}$ ) aus einer Gegend ohne Trinkwasserfluoridierung bis hin zu Werten um 2000 ppm aus einer Gegend mit Trinkwasserfluoridierung. *Künzel et al.* (1985) führten eine Untersuchung zum Fluoridgehalt von Milchzähnen nach Fluoridgabe in Tablettenform durch. Sie fanden dabei durchschnittlich 300 ppm Fluorid in der obersten Schmelzschicht bei Zähnen, die nicht zusätzlich fluoridiert worden waren. Der Fluoridgehalt im oberflächlichen Schmelz konnte durch postnatale Fluoridtabletten-Gabe auf bis zu 900 ppm gesteigert werden. In diesem Zusammenhang zeigt *Hargreaves* (1967), dass Milchzähne unabhängig vom Alter sehr unterschiedliche Mengen an gebundenem Fluorid enthalten.

Stets liegt die höchste Fluoridkonzentration an der Schmelzoberfläche vor. Auch wenn es schwierig ist, den Ausgangsfluoridgehalt in der vorliegenden Studie mit anderen Studien direkt zu vergleichen, da keine Ergebnisse für Milchzähne in einer vergleichbar geringen Schichttiefe vorliegen, scheinen die Ergebnisse von zirka 1000 ppm mit den publizierten Daten vergleichbar.

Im experimentellen Verlauf wurden nicht die Ausgangswerte, sondern die Fluoridzunahmen bewertet. Nicht bekannt ist, in welchem Umfang unterschiedliche Ausgangsfluoridgehalte einen Einfluss auf die in der Untersuchung aufgezeigte Fluoridaufnahme in den Schmelz bzw. Fluoridanlagerung auf die Schmelzoberfläche haben können. *Nicholson und Mellberg* (1969) zeigten, dass der Ausgangsfluoridgehalt und die Fluoridzunahme korrelieren, wobei höher fluoridierter Milchzahnschmelz bei zusätzlicher Fluoridierung weniger Fluoride aufnimmt.

Bei der Bestimmung des als Kalziumfluoriddeckschicht aufgelagerten Fluorids zeigen die Ausgangswerte, dass sich zum Teil schon zu Versuchsbeginn geringe Fluoridauflagerungen auf dem Zahnschmelz befanden. In einer Untersuchung von *Cruz und Rölla* (1991) ist mit dem Vorgehen von *Caslavska et al.* (1975) ebenfalls die Kalziumfluoriddeckschicht untersucht worden. Auch diese Autoren fanden bereits vor einer Fluoridierung eine Kalziumfluorid-Deckschicht.

### **Ätztiefen**

Die Ätztiefen der Proben unterscheiden sich signifikant. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Ätztiefen die unterschiedlichen Fluoridgehalte reflektieren. Eine weniger mineralisierte Schmelzprobe weist grundsätzlich höhere Ätztiefen auf. Die unterschiedlichen Ätztiefen von Kontroll- und Testplättchen entsprechen dem unterschiedlichen Gehalt an gebundenem Fluorid, der in den Testarealen durch die unterschiedlichen Fluoridierungsmaßnahmen bewusst erhöht worden war.

Die Dichte des Schmelzes ging in dieser Studie mit  $\rho = 3,1 \text{ mg/mm}^3$  in die Berechnung der Ätztiefen ein. Da die Dichte des Schmelzes aber entsprechend dem Demineralisationsgrad variiert, entsprechen die errechneten Ätztiefen nicht den tatsächlichen. Des Weiteren wurde, wie bereits erwähnt, nicht weiter berücksichtigt, ob die mineralärmere Geburtslinie des Zahnes durch die Schmelzproben verlief. Im fluoridreicheren inzisalen Anteil des Schmelzes ist die Ätztiefe in der Regel geringer als im zervikalen, weniger mineralisierten Anteil (*Künzel und Schaper* 1985, *Niibu et al.* 1991). Die errechneten Ätztiefen stellen also grundsätzlich nur einen Mittelwert dar. Diese Problematik stellt sich allerdings auch bei anderen Untersuchungen.

Durch die chemische Behandlung mit Perchlorsäure wurden nicht die Ätztiefen erzeugt, die in vorausgegangenen Studien erzielt wurden. Durch das gleiche Ätzverfahren erhielt Regel (2003) an bleibenden Zähnen beispielsweise Ätztiefen zwischen 20 und 40  $\mu\text{m}$ , in denen je nach Fluoridierungsmaßnahme Fluoridzugewinne zwischen 100 und ca. 900 ppm beobachtet wurden. Im vorliegenden Versuch gehen sehr niedrige Ätztiefen mit hohem Fluoridgehalt einher. Dies spricht dafür, dass die Fluorideinlagerung im vorliegenden Versuch direkt in den oberen  $\mu\text{m}$  des Schmelzes stattgefunden hat.

Auch *Duschner et al.* (1980) zeigten, dass deutliche Änderungen der Schmelzzusammensetzung durch die Wirkung eines Fluoridierungsmittles nur in der äußersten Oberflächenschicht beobachtet werden. Demzufolge befinden sich die in der vorgelegten Studie gefundenen Ätztiefen in genau der Größenordnung, in der es die Fluoridkinetik zu erforschen und verstehen gilt. Zudem weisen alle Gruppen bezüglich der Ätztiefen die gleiche Größenordnung auf.

## **5.2. Diskussion der Ergebnisse**

Beim Vergleich von Kontroll- und Proben-Schmelzarealen kann für alle drei Untersuchungsgruppen sowohl bezüglich des aufgelagerten als auch des inkorporierten Fluorids eine Zunahme des Fluoridgehaltes nach den verschiedenen Fluoridexpositionen festgestellt werden. Diese Zunahmen sind allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt und erreichen nicht in allen Gruppen Signifikanzniveau.

In Versuchsgruppe A dieser In-vitro-Untersuchung, bei der die Fluoridquelle einzig die ausgehärtete Glasionomierzementprobe war, konnte sowohl eine Erhöhung des aufgelagerten wie auch des eingelagerten Fluorids festgestellt werden. Dabei erreichen die Werte für die Zunahme an eingelagertem Fluorid statistisches Signifikanzniveau, die für KOH-lösliches Fluorid nicht. Die Tatsache, dass innerhalb der Zahnhartsubstanz signifikante Fluoridgewinne nachweisbar sind, auf der Zahnoberfläche hingegen nicht, mag auf den ersten Blick erstaunen. Es ist allerdings

zu berücksichtigen, dass die Ursprungszähne, aus denen die Schmelzproben gewonnen wurden, unterschiedlich lang in der Mundhöhle gestanden haben und dort mit unterschiedlichen Fluoridanwendungen in Kontakt gekommen sein dürften. Dies ist am unterschiedlichen Ausgangsfluoridgehalt der Schmelzplättchen zu erkennen. Die verschiedenen Ausgangsbedingungen können möglicherweise einen Einfluss auf die unterschiedliche Aufnahme in bzw. auf den/dem Schmelz mitverursacht haben.

Allerdings ändert die unterschiedliche statistische Beurteilung der Fluoridzugewinne in (p = 0,005, signifikante Zunahme) oder auf dem Schmelz (p = 0,114, keine signifikante Zunahme) nichts an dem Ergebnis, dass es an beiden Lokalisationen zu Fluoridzunahmen gekommen ist. Auf dem Schmelz macht die (nicht-signifikante) Steigerung des Fluoridgehaltes von 0,29 µg/cm<sup>2</sup> auf 0,42 mg/cm<sup>2</sup> immerhin 45 % aus. In Anbetracht der diskutierten unbekanntenen Eigenschaften des Ausgangsmaterials und der geringen Anzahl von 10 Schmelzproben ist der scheinbare Widerspruch zwischen den Ergebnissen der Fluoridaufnahme auf und in dem Schmelz daher zu relativieren.

Es bleibt somit die Aussage festzuhalten, dass es in und auf Milchzahnschmelz aus benachbartem Glasionomerezement zu einer Erhöhung der nachweisbaren Fluoridmenge kommt. Dies steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen von *Tam et al.* (1997) sowie *Wandera* (1998).

In Gruppe B, in der die Fluoridaufnahme im Zahnschmelz aus regelmäßig refluoridiertem Glasionomerezement untersucht wurde, ist ebenfalls ein Fluoridzugewinn in und auf dem Schmelz zu beobachten. Dabei ist der Zugewinn sowohl an KOH-löslichem als auch an gebundenem Fluorid signifikant. Bereits *Creanor et al.* (1995) konnten zeigen, dass nach Applikation einer 250-ppm-Fluoridlösung die Fluoridabgabe aus Glasionomerezement deutlich erhöht ist. Dies ist gemäß der vorliegenden experimentellen Anordnung offensichtlich auch mit einer 100-ppm-NaF-Lösung und in künstlichem Speichel sowie bei einer zusätzlichen Pellikelbildung der Fall, da der erhöhte Fluoridgehalt im Zahnschmelz bei Gruppe B nur durch die gesteigerte Fluoridfreisetzung nach Refluoridierung des Glasionomerezementes erklärt werden kann.

Somit zeigt die Studie, dass die Fluoridfreisetzung aus Glasionomierzement nach Refluoridierung („Wiederaufladung“) und die dadurch erhöhte Fluoridabgabe aus dem Material (*Creanor et al.* 1995, *Schiffner und von Bröckel* 1999) innerhalb von 28 Tagen soweit erhöht werden kann, dass hieraus eine erhöhte Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz folgt. Dies steht in Übereinstimmung mit Studien von *Seppä* (1994) und *Marinelli et al.* (1997). Hieraus könnte auf eine klinische Bedeutung der Wiederaufladung geschlossen werden, wie es auch die Arbeiten von *Marinelli et al.* (1997) sowie *Strother et al.* (1998), letzterer allerdings unter Anwendung eines 5000-ppm-Fluoridgels, nahe legen.

In Gruppe C wurde nicht nur der Glasionomierzement, sondern zugleich auch die Schmelzprobe zweimal täglich mit einer 100-ppm-NaF-Lösung fluoridiert, was der oralen Situation beim Zähneputzen entspricht. In dieser Gruppe kommt es nach 28 Tagen zu signifikanten Zunahmen der Fluoridein- und der Fluoridauflagerung. Auffällig ist vor allem die deutliche Zunahme aufgelagerten Fluorids, welche mit einer Zunahme von 0,24  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  auf 0,75  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  eine Steigerung um mehr als 200 % ausmacht.

*Attin et al.* (2000) erlangten auf Rinderschmelzblöcken eine Auflagerung von 87,0  $\mu\text{m}/\text{cm}^2$  KOH-löslichen Fluorids nach einstündiger Behandlung mit einer 2000-ppm-Fluoridlösung bei pH 6,8. Diese Studie wurde allerdings ohne Erzeugung eines Pellikels durchgeführt.

*Cruz und Rölla* (1991) kamen zu dem Ergebnis, dass ein künstlich erzeugtes Pellikel bei neutralem pH-Wert keinen Einfluss auf die Präzipitation der Kalziumfluoriddeckschicht hat. Die unbehandelten Kontrollproben ihrer Untersuchung hatten einen  $\text{CaF}_2$ -Gehalt von 0,031  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Die Proben, die mit einem Pellikel und einer 2% NaF-Lösung bei pH 7,5 behandelt worden waren, wiesen ebenso wie nur mit einer 2% NaF-Lösung behandelte Proben einen Fluoridgehalt von 0,210  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  auf. *Larsen und Richards* (2001) stellten sogar fest, dass in der Anwesenheit von Speichel mehr Kalziumfluorid auf der Schmelzoberfläche entsteht als im Versuchmedium Wasser. *Hanning* (1994a) fand kontrovers hierzu, dass die Pellikelbildung inhibierend auf die Fluoridkinetik wirken kann und führte aus, dass Speichelionen und das Pellikel in Abhängigkeit vom Lipidanteil als Diffusionsbarriere

für verschiedene Ionen und Säuren wirken können. Sie trügen dazu bei, die Präzipitation von Kalziumsalzen zu inhibieren.

Die vorgelegte Studie zeigt ungeachtet der Gegenwart eines Pellikels und von umgebendem künstlichen Speichel nach regelmäßiger Applikation der 100-ppm-Fluoridlösung einen erheblichen Fluoridzugewinn auf dem Milchzahnschmelz. Auch bezüglich des strukturell gebundenen Fluorid ist nach 28 Tagen in Gruppe C ein deutlicher Fluoridzugewinn von 1194 ppm festzustellen, womit sich der Endfluoridgehalt signifikant von dem Ausgangsfluoridgehalt der Kontrollproben unterscheidet.

Die Übertragung der Ergebnisse für Gruppe C auf die klinische Situation bedeutet, dass es nach Anwendung von Fluorid bei einer dem Zahnpastengebrauch entsprechenden Konzentration und Häufigkeit zu signifikanten Erhöhungen der Fluoridmenge auf dem Zahnschmelz sowie auch der Fluoridkonzentration im Oberflächenschmelz kommt. Dies entspricht vielfältig gesicherten Kenntnissen (Gülzow 1995), wobei von Interesse ist, dass dies auch unter den experimentellen Bedingungen der Applikation von Fluorid in einer Konzentration von nur 100 ppm sowie in Gegenwart von Pellikel und künstlichem Speichel gezeigt werden konnte.

Mit der bisher durchgeführten, auf die einzelnen Untersuchungsgruppen bezogenen Diskussion der Auswirkung von Fluorid aus Glasionomerzement, aus refluoridiertem Glasionomerzement oder aus der refluoridierenden Fluoridlösung können also weitgehend bekannte Erkenntnisse auch für die gewählte Situation mit Gegenwart von Pellikel und Speichelionen bestätigt werden. Mit der jetzt folgenden Betrachtung jedoch soll über diese Kenntnisse hinausgegangen werden, indem durch Vergleich der Ergebnisse der drei experimentellen Gruppen die Frage nach der Wertigkeit der verschiedenen Fluoridexpositionen diskutiert wird.

Hierbei wird deutlich, dass der stärkste Effekt durch Applikation der 100-ppm-Fluoridlösung auf die Schmelzproben erzielt wird. Dies gilt sowohl für das aufgelagerte als auch für das eingelagerte Fluorid. Bemerkenswert ist die deutliche Zunahme aufgelagerten Fluorids in Gruppe C, welche mit der signifikanten Veränderung von  $0,24 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  auf  $0,75 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  eine Steigerung um 212 % ausmacht.

Diese Zunahme unterscheidet sich signifikant von dem Fluoridgewinn auf dem Zahnschmelz in den beiden anderen Gruppen, in denen die aufgelagerte Fluoridmenge lediglich um ca. 45% (Gruppe A) bzw. um ca. 110 % (Gruppe B) angestiegen war. Zwischen diesen beiden Gruppen besteht bezüglich des zusätzlich aufgelagerten Fluorids kein signifikanter Unterschied.

Die besonders hohe Fluoridauflagerung auf dem Zahnschmelz in Gruppe C steht in Übereinstimmung mit verschiedenen Studien, die gezeigt haben, dass das Ausmaß der Kalziumfluoridbildung neben dem pH-Wert, der Art der Fluoridverbindung oder der Einwirkzeit auch von der applizierten Fluoridkonzentration abhängt (*Cruz et al. 1991, Larsen und Richards 2001, Ögaard 2001, Petzhold 2001, ten Cate 2003*).

Einige Autoren halten die Menge aufgelagerten Fluorids für die entscheidende Komponente bezüglich der kariespräventiven Effektivität von Fluorid (*Ögaard et al. 1990*), und andere sind gar der Auffassung, dass es nach oberflächlicher Fluoridapplikation auf Zahnschmelz ausschließlich zu einem Reaktionsprodukt auf der Zahnoberfläche, nicht aber im (intakten) Kristallgitter käme (*Duschner et al. 1980, Cruz et al. 1991*). In der vorliegenden Untersuchung konnte allerdings auch gezeigt werden, dass in Gruppe C gegenüber Gruppe A nicht nur mehr Fluorid aufgelagert, sondern auch eingebaut wurde.

Unter einer initial gebildeten Kalziumfluoriddeckschicht kann es langsam zu einer Umwandlung von Hydroxylapatit zu Hydroxyl-Fluor-Apatit kommen (*Rölla und Saxegaard 1990, Ögaard et al. 1994, Gülzow 1995*). Dabei ist auch bekannt, dass die Aufnahme von Fluorid in den Zahnschmelz zu einem bestimmten Anteil von der Anzahl der Fehlstellen im Hydroxylapatit-Kristallgitter abhängig ist (*Weatherell et al. 1977, Silverstone und Fejerskov 1988*), so dass bei demineralisiertem Schmelz oder unter sauren pH-Bedingungen eine besonders hohe Einlagerung erfolgt (*Rölla und Saxegaard 1990, Schiffner et al. 2004*). Die inhomogene Schmelzstruktur des Milchzahnschmelzes kann mit für die in der vorgelegten Studie gefundenen Fluorideinlagerungen in den Schmelz verantwortlich sein.

Die direkt aus dem Glasionomerzement oder nach dessen Refluoridierung erzielten Fluoridaufnahmen in und auf dem Zahnschmelz erscheinen gegenüber den

Fluoridgewinnen nach Anwendung der 100-ppm-Fluoridlösung gering. Dies ist insbesondere für die Fluoridaufnahme aus dem „wiederaufgeladenen“ Glasionomerzement von Bedeutung, da diesem Mechanismus gelegentlich eine wichtige klinische Bedeutung zugesprochen wird (*Marinelli et al.* 1997, *Strother et al.* 1998). Die vorgelegte Untersuchung legt nahe, dass dieser Mechanismus klinisch von untergeordneter Bedeutung ist, da die zur Aufladung verwendete Fluoridquelle per se einen ungleich ausgeprägteren Fluoridierungseffekt direkt auf den Zahnschmelz hat.

Dabei sei konstatiert, dass die in Gruppe C ermittelten Fluorideffekte eine Summe aus der direkten Fluoridapplikation auf den Zahnschmelz plus der indirekten Fluoridierung aus dem aufgeladenen Glasionomerzement darstellen. Allerdings ist der Unterschied der aufgelagerten Fluoridzugewinne zwischen Gruppe A und Gruppe B nicht signifikant. Das heißt, dass der Effekt der Fluorid-Wiederaufladung einer Glasionomerzementfüllung auf die Fluoridzunahme auf benachbartem Schmelz gegenüber dem aus einer nicht zusätzlich wiederaufgeladenen GIZ-Füllung begrenzt ist. Den entscheidenden Anteil am Fluoridzugewinn auf dem Milchzahnschmelz verursacht mithin die direkte Applikation der Fluoridlösung auf den Schmelz, und der indirekte Effekt infolge der Wiederaufladung benachbarten Glasionomerzementes ist demgegenüber gering.

Klinisch steht der kariesinhibierende Effekt einer Glasionomerzementfüllung noch immer in der Diskussion. *Randall und Wilson* (1999) formulierten in einer Literaturübersicht, dass keine Aussage für oder gegen diesen Effekt getroffen werden könne. Diese im Angesicht früherer optimistischer Interpretationen eher skeptische Aussage wird mit Hilfe der vorgelegten Untersuchung besser erklärbar. Zumindest für Milchzahnschmelz-Glattflächen, welche in der Studie herangezogen wurden, dürfte trotz der bestätigten Fluoridaufnahme aus dem Glasionomerzement und trotz der bestätigten erhöhten Fluoridaufnahme aus dem refluoridierten Glasionomerzement eine wirksame Kariesprävention in erster Linie auf die Applikation einer Fluoridverbindung direkt auf den Zahnschmelz zurückzuführen sein. Inwieweit dies auch für Randspaltsituationen oder für klinische Situationen mit Sekundärkaries gilt, kann aus der vorgelegten Arbeit nicht abgeleitet werden.



Die eingangs im Zusammenhang mit der bearbeiteten Fragestellung aufgestellte Hypothese ist somit wie folgt zu beantworten:

Die regelmäßige Refluoridierung von Glasionomerzement hat eine Zunahme der Fluoridkonzentration in sowie auf benachbarten Milchzahnschmelzarealen zur Folge. Diese Erhöhung ist allerdings gegenüber der Erhöhung der Fluoridmenge im und insbesondere auf dem Oberflächenschmelz, die aus direkter Fluoridapplikation auf den Zahnschmelz erfolgt, gering.

Mithin ist die Untersuchung geeignet, die Rolle von Glasionomerzementfüllungen als wiederaufladbares Fluorid-Speichermedium als vergleichsweise untergeordnet zu charakterisieren, sofern regelmäßig Fluorid direkt auf die Zahnoberfläche appliziert wird.

## 6 Zusammenfassung

Mit Hilfe der vorliegenden In-vitro-Studie sollte eine vergleichende Beurteilung der Bedeutung von Glasionomerzement, von refluoridiertem („wiederaufgeladenem“) Glasionomerzement oder von einer zu dieser Refluoridierung verwendeten Fluoridlösung auf den Fluoridgehalt von benachbartem Milchzahnschmelz erfolgen. Zielgrößen der Untersuchung waren die Fluoridanlagerung auf dem Zahnschmelz (KOH-lösliches Fluorid) sowie die Fluorideinlagerung im oberflächlichen Zahnschmelz (strukturell gebundenes Fluorid).

Als Fluoridquelle diente zum einen der Glasionomerzement Ketac-Fil® (3M-Espe AG, D-Seefeld), zum anderen eine Fluoridspüllösung, mit der der Glasionomerzement refluoridiert wurde und mit dem die Schmelzproben direkt fluoridiert wurden. Aus humanen, natürlich exfolierten Milchzähnen wurden 60 Schmelzproben herausgetrennt, von denen die Hälfte auf drei Gruppen zu je 10 Proben aufgeteilt wurde. Die anderen Proben dienten der Kontrolle für die Bestimmung der Fluoridauf- und -einlagerung. Mit dem Glasionomerzement wurden standardisierte Proben in Plastikhalme gelegt und in künstlichem Speichel zusammen mit den in ca. 2 mm Entfernung angebrachten Schmelzproben teilweise so angebracht, dass der Glasionomerzement und der Zahnschmelz getrennt fluoridiert werden konnten:

Gruppe A: Füllung und Schmelzplättchen waren zusammen fixiert und wurden nicht fluoridiert,

Gruppe B: Füllung und Schmelzplättchen waren trennbar, nur die Füllung wurde fluoridiert,

Gruppe C: Füllung und Schmelzplättchen waren zusammen fixiert, beide wurden fluoridiert.

Zur Fluoridierung wurde eine 100-ppm-Natriumfluoridlösung verwendet, welche bezüglich ihres Fluoridgehaltes die Anwendung von Kinderzahnpaste in der Mundhöhle simulierte. Verschiedene weitere Parameter der Mundhöhle wie das Pellikel, die Speichelionen, die Temperatur sowie auch die durchschnittliche Putzzeit und die Putz-Regelmäßigkeit wurden berücksichtigt. Die Fluoridlösung wurde über vier Wochen zweimal täglich für 3 Minuten auf die jeweiligen Probekörper appliziert. Anschließend wurde mit Hilfe einer fluoridionensensitiven Elektrode nach Ablösen mit

Kalilauge die auf dem Zahnschmelz abgelagerte Fluoridmenge sowie nach Lösen mit Perchlorsäure das im Zahnschmelz strukturell gebundene Fluorid bestimmt.

Zum Versuchsende war der Fluoridgehalt in allen Gruppen angestiegen. Dabei wurden in Gruppe A im Vergleich zu den Kontrollen signifikante Fluorideinlagerungen, nicht hingegen Fluoridauflagerungen erreicht, während in Gruppe B (refluoridierter Zement) und Gruppe C (refluoridierter Zement und fluoridierter Zahnschmelz) sowohl signifikante Fluoridauflagerungen als auch -einlagerungen nachgewiesen wurden. In Gruppe C, in der sowohl die Füllungsproben als auch die Schmelzplättchen über 28 Tage fluoridiert worden waren, wurden die höchsten Fluoridzugewinne gefunden.

Beim Vergleich der Fluorid-Zugewinne der drei Gruppen untereinander konnten bezüglich der Fluoridan- und -einlagerung signifikant höhere Werte in Gruppe C als in Gruppe A ermittelt werden.

Die gute experimentelle Simulierung oraler Verhältnisse erlaubt eine vorsichtige Übertragung der vorgelegten Ergebnisse auf die klinische orale Situation. Demnach ist für die Fluoridierung von Milchzahnschmelz, der einer Glasionomerezementfüllung benachbart ist, in erster Linie von außen zugeführtes Fluorid von Bedeutung. Die direkt aus dem Glasionomerezement oder nach dessen Refluoridierung erzielten Fluoridaufnahmen in und auf dem Zahnschmelz erscheinen demgegenüber gering und folglich von geringerer klinischer Bedeutung. Dies ist insbesondere für die Fluoridaufnahme aus dem „wiederaufgeladenen“ Glasionomerezement von Bedeutung, da diesem Mechanismus gelegentlich eine klinische Bedeutung zugesprochen wird. Die vorgelegte Untersuchung belegt, dass die zur Aufladung verwendete Fluoridquelle per se einen ungleich ausgeprägteren Fluoridierungseffekt direkt auf den Zahnschmelz hat.

## 7 Literatur

Ainsworth NJ: Mottled teeth. Br Dent J 60, 233 (1933)

Arends J, Jongebloed WL: Crystallite dimensions of enamel. J Biol Buccale 6, 161-171 (1978)

Arends J, Lodding A, Petersson LG: Fluoride uptake in enamel. Caries Res 14, 403-413 (1980)

Attin T, Buchalla W, Siewert C, Hellwig E: Fluoride release/uptake of polyacid-modified resin composites (compomers) in neutral and acid buffer solutions. J Oral Rehabil 26, 388-393 (1999)

Attin T, Dumont B, Buchalla W: Fluoridaufnahme in erodiertem, kariösem und gesundem Zahnschmelz nach Applikation einer 2000-ppm-Fluoridlösung. Dtsch Zahnärztl Z 55, 455-460 (2000)

Attin T, Hellwig E, Klimek J. Der Einfluß einer niedrig dosierten Fluoriddauerapplikation auf initiale Karies. Dtsch Zahnärztl Z 47, 770-773 (1992)

Bánóczy J, Szöke J, Kertész P, Tóth Z, Zimmermann P, Gintner Z: Effect of amine fluoride/ stannous fluoride-containing toothpaste and mouthrinsings on dental plaque, gingivitis, plaque and enamel F<sup>-</sup> accumulation. Caries Res 23, 284-288 (1989)

Barbakow F: In-vivo-Reaktionen an der Schmelzoberfläche nach Fluoridapplikation. Dtsch Zahnärztl Z 38, 23-24 (1983)

Benelli EM, Serra MC, Rodrigues Jr. AL, Cury JA: In situ anticariogenic potential of glass ionomer cement. Caries Res 27, 280-284 (1993)

Bowen WH: Dental Caries. Is it an extinct disease? J Am Dent Assoc 122, 49-54 (1991)

Burt AB: Pre- and posteruptive fluoride: Do both actions control caries? *J Publ Health Dent* 64, 47-49 (2004)

Castioni NV, Baehni PC, Gurny R: Current status in oral fluoride pharmacokinetics and implications for the prophylaxis against dental caries. *Eur J Pharm Biopharm* 45, 101-111 (1998)

Creanor SL, Carruthers LMC, Saunders WP, Strang R, Foye RH: Fluoride uptake and release characteristics of glass ionomer cements. *Caries Res* 28, 322-328 (1994)

Creanor SL, Carruthers LMC, Saunders WP, Strang R, Foye RH: Effect of extrinsic fluoride concentration on the uptake and release of fluoride from two glass ionomer cements. *Caries Res* 29, 424-426 (1995)

Cruz R, Rölla G: Deposition of alkali-soluble fluoride on enamel surface with or without pellicle. *Scand J Dent Res* 99, 96-99 (1991)

Damen JJM, Buijs MJ, van Strijp AJP, ten Cate JM: In vitro fluoride uptake by intra-orally aged and contaminated glass ionomer cement. *Caries Res* 33, 88-90 (1999)

Damen JJM, Buijs MJ, ten Cate JM: Uptake and release of fluoride by saliva-coated glass ionomer cement. *Caries Res* 30, 454-457 (1996)

Davies RM, Davies GM, Ellwood RP: Prevention. Part 4: Toothbrushing: What advice should be given to patients? *Br Dent J* 195, 135-141 (2003)

Dean HT: Endemic fluorosis and its relation to dental caries. *Publ Hlth Rep* 53, 1443 (1938)

Dean HT, Jay Ph, Arnold FA, Elvove E: Domestic water and dental caries. II. A study of 2832 white children, aged 12-14 years, of 8 suburban Chicago communities, including *Lactobacillus Acidophilus* studies of 1761 children. *Publ Hlth Rep* 56, 761 (1941)

Dean HT, Arnold FA, Elvove E: Domestic water and dental caries. V. Additional studies of the relation of fluoride domestic waters to dental caries experience in 4425 white children, aged 12 to 14 years, of 13 cities in 4 states. *Publ Hlth Rep* 57, 1155 (1942)

Diaz-Arnold AM, Holmes DC, Wistrom DW, Swift EJ: Short-term fluoride release/uptake of glass ionomer restoratives. *Dent Mater* 11, 96-101 (1995)

Dijkman AG, Tak J, Arends J.: Fluoride deposited by topical applications in enamel. KOH-soluble and aquired fluoride. *Caries Res* 16, 147 (1982)

Duschner H, Uchtmann H, Ahrens G: Elektronenspektroskopische Bestimmung der Ca-, P-, O- und F- Verhältnisse in ultradünnen Schichten der Schmelzoberfläche. *Dtsch Zahnärztl Z* 35, 306-309 (1980)

Eager JM: Abstract: chiaie teeth. *Dent Cosmos* 44, 300 (1902)

Eichner K: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Thieme (1988)

Einwag J, Hellwig E, Hotz P, Städtler P: The relative caries-inhibiting efficacy of amine fluoride and sodium fluoride in compatible dentifrices – results of a consensus conference. *Quintessence Int* 26, 707-13 (1995)

Ekstrand J, Ehrnebo M: Absorption of fluoride from fluoride dentifrices. *Caries Res* 14, 96-102 (1980)

Elderton RJ: Preventive dental care. *Br Dent J* 177, 86-86 (1994)

El Mallakh BF, Sarkar NK: Fluoride release from glass-ionomer cements in de-ionized water and artificial saliva. *Dent Mater* 6, 118-122 (1990)

Ericsson Y: Effect of infant diets with widely different fluoride contents on the fluoride concentrations of deciduous teeth. *Caries Res* 7, 56-62 (1973)

Ertugrul F, Eltem R, Eronat C: A comparative study of plaque mutans streptococci levels in children receiving glass ionomer cement and amalgam restorations. *J Dent Child* 70, 10-14 (2003)

Fischer C, Lussi A, Hotz P: Kariostatische Wirkungsmechanismen der Fluoride. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105, 311-317 (1995)

Fischer S: Der Fluoridgehalt im Speichel-Zahnpasten-Gemisch während der Anwendung von Zahnpasten mit unterschiedlichen Fluoridverbindungen. *Med Diss*, Hamburg 2001

Fischer-Brandies H, Kluge G, Theusner J, Häusler K: Fluorverteilung im Schmelz bei Einsatz von Glasionomern als Befestigungswerkstoff. *Dtsch Zahn-Mund-Kieferheilkd* 79, 349-355 (1991)

Forss H, Näse L, Seppä L: Fluoride concentration, mutans streptococci and lactobacilli in plaque from old glass ionomer fillings. *Caries Res* 29, 50-53 (1995)

Forss H, Seppä L, Alakuijala P: Plaque accumulation on glass ionomer filling materials. *Proc Finn Dent Soc* 87, 343-350 (1991)

Forsten L: Fluoride release and uptake by glass ionomers. *Scand J Dent Res* 99, 241-245 (1991)

Forsten L: Short- and long-term fluoride release from glass ionomer based liners. *Scand J Dent Res* 99, 340-342 (1991)

Forsten L: Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake. *Acta Odontol Scand* 53, 222-225 (1995)

Forsten L: Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials* 19, 503-508 (1998)

Forsten L, Karjalainen S: Glass ionomers in proximal cavities of primary molars. Scand J Dent Res 98, 70-73 (1990)

Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Shams M: Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and the influence on Streptococcus mutans growth. Eur J Oral Sci 105, 81-85 (1997)

Garcia R, Caffesse RG, Charbeneau GT: Gingival tissue response to restoration of deficient cervical contours using a glass-ionomer material. A 12 month report. J Posthet Dent 46, 393-398 (1981)

Gedalia I, Kalderon S: Fluoride in the surface enamel of teeth from the same mouth. J Dent Res 43, 44-49 (1964)

Geurtsen W: Substances released from dental resin composites and glass ionomer cements. Eur J Oral Sci 106, 687-695 (1998)

Glenn FB, Glenn WD, Duncan RC: Prenatal fluorid supplementation and the fluoride content of teeth. J Dent Child 51, 344 (1984a)

Glenn FB, Glenn WD, Duncan RC: Prenatal fluorid supplementation and improved molar occlusal morphology. J Dent Child 51, 19 (1984b)

Glockmann E, Gehroldt C, Triemer K: Freisetzung von Fluorid aus unterschiedlichen Glasionomerzementen. Dtsch Zahnärztl Z 52, 668-672 (1997)

Gülzow HJ: Präventive Zahnheilkunde. Hanser, München (1995)

Gülzow HJ, Burghardt P, Schiffner U: Karies bei Hamburger Kindergartenkindern 1977-1993. Dtsch Zahnärztl Z 51, 354-356 (1996)

Gülzow HJ, Farshi H: Die Zahngesundheit Hamburger Kindergartenkinder 1997-1998. Dtsch Zahnärztl Z 55, 770-773 (2000)



Gülzow HJ, Ganschow C, Mannes C: Fluoridaufnahme der Schmelzoberfläche auf Zahnpasten mit unterschiedlichen Fluoridverbindungen. Deutsch Zahnärztl Z 48, 112-114 (1993)

Gülzow HJ, Hellwig E, Hetzer G. Empfehlungen zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden. Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Dtsch Zahnärztl Z 55, 523 (2000)

Gülzow HJ, Hellwig E, Hetzer G (2006) Leitlinie Fluoridierungsmaßnahmen. Zahnärztliche Zentralstelle Qualitätssicherung (Hrsg.) URL: <http://www.zzq-koeln.de/>, Stand 30.04.2008

Hallsworth AS, Weatherell JA, Robinson C: Loss of carbonate during the first stages of enamel in caries. Caries Res 7, 345-348 (1973)

Hallgren A, Oliveby A, Twetman S: Fluoride concentration in plaque adjacent to orthodontic appliances retained with glass ionomer cement. Caries Res 27, 51-54 (1993)

Hamilton IR: Effects of fluoride enzymatic regulation of bacterial carbohydrate metabolism. Caries Res 11, 262-291 (1977)

Hamilton IR: Biochemical effects of fluoride on oral bacteria. J Dent Res 69, 660-667 (1990)

Hanning M: Bildung, Funktion und Bedeutung der Pellikel I. Biochemische, bakteriologische und strukturelle Aspekte. Oralprophylaxe 16, 39-46 (1994a)

Hanning M: Bildung, Funktion und Bedeutung der Pellikel II. Auswirkung zahnärztlicher Maßnahmen und dentaler Materialien auf die Pellikelbildung. Oralprophylaxe 16, 102-105 (1994b)

Hargreaves JA: Enamel wear in deciduous teeth with age, related to surface fluoride content. Caries Res 1, 32-41 (1967)

Hatibović-Kofman S, Koch G: Fluoride release from glass ionomer cement in vivo and in vitro. Swed Dent J 15, 253-258 (1991)

Hatibović-Kofman S, Suljak JP, Koch G: Remineralization of natural carious lesions with a glass ionomer cement. Swed Dent J 21, 11-17 (1997)

Hattab FN, Wei SHY, Chan DCN: A scanning electron microscopic study of enamel surfaces treated with topical fluoride agent in vivo. J Dent Child 55, 205-209 (1988)

Hattab FN, Amin WM: Fluoride release from glass ionomer restorative materials and the effects on surface coating. Biomaterials 22, 1449-1458 (2001)

Hattab FN, Mok NYC, Agnew EC: Artificially formed caries-like lesions around restorative materials. J Am Dent Assoc 118,193-197 (1989)

Haubner R: Der Fluoridgehalt im Zahnschmelz kariöser und nicht-kariöser Zähne. Med Diss, Erlangen-Nürnberg (1990)

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban und Fischer, München-Jena (1999)

Hellwig E, Klimek J: Fluoridverlust aus demineralisiertem Schmelz nach Applikation verschieden konzentrierter NaF<sup>-</sup> und Na-MFP-Lösungen im künstlichen Mund. Dtsch Zahnärztl Z 39, 892-898 (1984)

Jensen ME, Kohout F: The effect of a fluoridated dentrifice on root and coronal caries in an older adult population. J Am Assoc 117, 829-832 (1988)

Keyes PH: Recent advances in dental caries research. Bacteriol Int Dent 12, 443-446 (1962)

Klement D, Siebert G: Quantifizierung von Fluoridwirkungen auf Streptococcus mutans NCTC 10449. Dtsch Zahnärztl Z 40, 1036-1039 (1985)

Klimek J, Ganss C, Schwan P, Schmid R: Fluoride uptake in plaque-covered and clean enamel after application of amine fluoride and sodium fluoride toothpaste in situ. *Caries Res* 32, 273 (1998)

Klimm W: Kariologie. Hanser, München (1997)

Knop B, Leisentritt V, Schiffner U: Zur Fluoridabgabe von Kompositen nach wiederholter Applikation eines Fluoridgeels. *Oralprophylaxe* 25, 116-119 (2003)

Koch G: Effect of daily supervised toothbrushing with a sodium fluoride dentifrice. A 3- year-double-blind clinical test. *Odont Revy* 18, 48-66 (1967)

Koch G: Effect of sodium fluoride in dentifrice and mouthwash on incidence of dental caries in schoolchildren. *Odont Revy* 18, 67-71 (1967)

Koch GJ, Hatibovic-Kofman S: Glass ionomer cements as a fluoride release system in vivo. *Swed Dent J* 14, 267-273 (1990)

König KG: Aktuelle Empfehlungen zum Fluoridgehalt in Kinderzahnpasten – Konsequenzen für die systemische Fluoridierung. *Gesundheitswesen* 64, 33-38 (2002)

König KG: Karies und Kariesprophylaxe. Goldmann, München (1971)

Künzel W, Schaper R, Schamschula RG, Tayler CE: Effekt prä- und postnataler Fluoridbelastung auf den Fluoridgehalt des Milchzahnschmelzes. *Zahn- Mund- Kieferheilk* 73, 3-9 (1985)

Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung. Statistisches Jahrbuch 2004.  
<http://www.kzbv.de> „statistik“

Larsen MJ, Jensen SJ: Solubility, unit cell dimensions and crystallinity of fluoridated human dental enamel. *Arch Oral Biol* 34, 969 (1989)

- Larsen MJ, Richards A: The influence of saliva on the formation of the calcium fluoride like material on human dental enamel. *Caries Res* 35, 57-60 (2001)
- Lindahl CB: Fluoride and monofluorophosphate analysis, *Caries Res* 17, 9-20 (1983)
- Lowry OH, Roberts NR, Leiner KY, Wu ML, Farr L: The quantitative histochemistry of brain. *J Biol Chem* 207, 1-15 (1954)
- Marinelli CB, Donly KJ: Effects of a fluoridated dentrifice on fluoride release of composite resin and glass ionomer cement. *J Dent Res* 72, 317 (1993)
- Marinelli CB, Donly KJ, Wefel JS, Jakobsen JR, Deneley GE: An in vitro comparison of three fluoride regimens on enamel remineralization. *Caries Res* 31, 418-422 (1997)
- Marquis R: Diminished acid tolerance of plaque bacteria caused by fluoride. *J Dent Res* 69, 672 (1990)
- Marthaler TM: Explanations for changing patterns of disease in the western world. In: Guggenheim, G. (ed.): *Cariology today*, 13-23, Karger, Basel (1984)
- Marthaler TM: Changes in the prevalence of dental caries. How much can be attributed to change in diet? *Caries Res* 24, (suppl 1) 3-25 (1990)
- Matzker J, Schreiber J: Synthetischer Speichel zur Therapie der Hyposialien, insbesondere bei der radiogenen Sialadenitis. *Z Laryng Rhinol* 51, 422-428 (1972)
- McCann HG: Determination of fluoride in mineralized tissues using the fluoride ion electrode. *Arch Oral Biol* 13, 475-477 (1968)
- McKay FS, Black GV: An investigation of mottled teeth (I). *Dent Cosmos* 58, 477 (1916)
- McKay FS, Black GV: An investigation of mottled teeth (II). *Dent Cosmos* 58, 627 (1916)

McKay FS, Black GV: An investigation of mottled teeth (III). *Dent Cosmos* 58, 781 (1916)

McKay FS, Black GV: An investigation of mottled teeth (IV). *Dent Cosmos* 58, 894 (1916)

Mellberg JR, Nicholson CR, Ripa LW, Barenie J: Fluoride deposition in human enamel in vivo from professionally applied prophylaxis paste. *J Dent Res* 55, 976-979 (1976)

Mellberg JR, Nicholson CR, Packer MW, Laswell HR: Fluoride concentrations in deciduous teeth of children using fluoride mouthrinses. *Caries Res* 7, 324-331 (1973)

Mjör IA, Moorhead JE, Dahl JE: Reasons for replacement of restorations in permanent teeth in general dental practice. *Int Dent J* 50, 361-366 (2000)

Monier-Williams GW: Trace elements in food. John Wiley & Sons, New York (1950)

Mühlemann HR, Rossinsky K, Schait A: Physikalisches, chemisches und mikromorphologisches Verhalten von Schmelz nach Behandlung mit anorganischen- und Aminfluoriden. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 77, 230-248 (1967)

Mukai M, Ikeda M, Yanagihara T, Hara G, Kato K, Nkagaki H, Robinson C: Fluoride uptake in human dentine from glass-ionomer cement in vivo. *Arch Oral Biol* 38, 1093-1098 (1993)

Murray JJ, Rugg-Gunn AJ, Jenkins GN: Fluorides in caries prevention. 3<sup>rd</sup> Ed. Butterworth-Heinemann, Oxford (1991)

Nelson DGA, Featherstone JDB, Duncan JF, Cutress TW: Effect of carbonate and fluoride on the dissolution behaviour of synthetic apatites. *Caries Res* 17, 200-211 (1983)

- Newesely H: Ist Fluor ein essentieller Spurenbestandteil des physiologischen Milieus? Dtsch Zahnärztl Z 22, 1483 (1967)
- Nicholson CR, Mellberg JR: Effect of neutral fluoride concentration of human tooth enamel on fluoride uptake in vitro. J Dent Res 48, 302-306 (1969)
- Niibu I, Nakagaki H, Kurosu K, Weatherell JA: Distribution of fluoride across human primary enamel. Archs oral Biol 36, 603-610 (1991)
- Nikiforuk G, McLeod IM, Burgess RC, Grainer RM, Brown HK: Fluoride-carbonate relationship in dental enamel. J Dent Res 41, 1477 (1962)
- Øgaard B, Arends J, Schuthof J, Rølla G, Ekstrand J, Oliveby A: Action of fluoride on initiation of early enamel caries in vivo. Caries Res 20, 270-277 (1986)
- Øgaard B, Rølla G, Ruben J, Arends J: Relative cariostatic effects of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in situ. J Dent Res 69, 1505-1506 (1990)
- Øgaard B: CaF<sub>2</sub>-formation: Cariostatic properties and factors of enhancing the effect. Caries Res 35 (suppl 1), 40-44 (2001)
- Olsson C, Emilson CG, Birkhed D: An in vitro study of fluoride release from a resin-modified glass ionomer cement after exposure to toothpaste slurries of different pH. Clin Oral Invest 4, 233-237 (2000)
- Patz J: Pharmakokinetische Untersuchungen zum Fluoridstoffwechsel. Thieme, Stuttgart (1975)
- Petzhold M: 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 (suppl 1), 45-51 (2001)
- Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchung zur Gruppenprophylaxe 2004 Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege, Bonn (2005)

Plant CG, Browne RM, Knibbs PJ: Pulpal effects of glass ionomer cements. *Int Endodont J* 17, 51-59 (1984)

Posada A, Emilson CG, Birkhed D: Fluoride release in vitro from a resin-modified glass ionomer after exposure to NaF solutions and toothpastes. *Swed Dent J* 24, 117-125 (2000)

Preston AJ, Mair LH, Agalamanyi EA, Higham SM: Fluoride release from aesthetic materials. *J Oral Rehabil* 26, 123-129 (1999)

Preston AJ, Higham SM, Agalamanyi EA, Mair LH: Fluoride recharge of aesthetic dental materials. *J Oral Rehabil* 26, 936-940 (1999)

Randall RC, Wilson NHF: Glass ionomer restoratives: a systematic review of a secondary caries treatment effect. *J Dent Res* 78, 628-637 (1999)

Regel I: Der Einfluss von Pellikel und Speichelionen auf die Fluoridfreisetzung und -wiederaufnahme von Glasionomerzement, sowie ihr Einfluss auf die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz. *Med Diss, Hamburg* (2003)

Reich E, Schmalz G, Bergmann RL, Bergler H, Bergmann KE: Kariesbefall von Kindern nach unterschiedlich langer Applikation von Fluoridtabletten. *Dtsch Zahnärztl Z* 47, 232-234 (1992)

Rezk-Lega F, Ögaard B, Rølla G: Availability of fluoride from glass-ionomer luting cements in human saliva. *Scand J Dent Res* 99, 60-63 (1991)

Richards LF, Westmoreland WW, Tashiro M, McKay CH, Morrison JT: Determining optimum fluoride levels for community water supplies in relation to temperature. *J Am Dent Assoc* 74, 389-397 (1967)

Rølla G: On the role of calcium fluoride in the cariostatic mechanism of fluoride. *Acta Odont Scand* 46, 341 (1988)

Rølla G, Saxegaard E: Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition. J Dent Res 69, (Spec Iss) 780-785 (1990)

Saul L: Die Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerzement und einem Kompomer im sauren Millieu und die hieraus resultierende Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz. Med Diss, Hamburg (2002)

Saxer UP, Barbakow J, Yankell SL: New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use. Clin Dent 9, 49-51 (1998)

Schiffner U: Grundlagen der Fluoridanwendung. Oralprophylaxe 23, 23-26 (2001)

Schiffner U: Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei Kindern (12 Jahre): Zahnkaries. In: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV), Dtsch Ärzte-Verlag, 155-148, Köln 2006a

Schiffner U: Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei Erwachsenen (35 – 44 Jahre): Zahnkaries. In: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV), Dtsch Ärzte-Verlag, 241-265, Köln 2006b

Schiffner U: Fluorid in der Kariesprophylaxe: Grundlagen und Konzept. Zahnärztl Welt Rundschau 116, 165-172 (2007)

Schiffner U, Grundmann I: Influence of salivary ions and pellicle on release and uptake of fluoride by glass ionomer cement. Caries Res 34, 339, abs. no. 90 (2000)

Schiffner U, Regel I, Saul L: Zur Fluoridabgabe aus Glasionomerzementen und dessen Aufnahme in Zahnschmelz in Gegenwart von Speichel. Biomaterialien 5 (S1), 86-87 (2004)



Schiffner U, von Bröckel U: Die Fluoridabgabe aus drei fluoridhaltigen Kompositen im Vergleich zur Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomercement. Dtsch Zahnärztl Z 54, 568- 571 (1999)

Schlorf M: Fluoride auf dem Zahnschmelz und Fluoridaufnahme in den Schmelz nach einmaliger und wiederholter Applikation eines Fluoridgelees. Med Diss, Hamburg (1992)

Schmeiser R, Strübig W: In-vivo-Untersuchung verschieden konzentrierter Fluoridgelees im Oberflächenschmelz. Dtsch Zahnärztl Z 45, 730-732 (1990)

Schraitle R, Siebert G: Zahngesundheit und Ernährung. Hanser, München (1987)

Schröder HE: Pathobiologie oraler Strukturen. Karger, Basel (1991)

Seppä L: Fluoride release and effect on enamel softening by fluoride-treated and fluoride-untreated glass ionomer specimens. Caries Res 28, 406-408 (1994)

Seppä L, Forss H, Øgaard B: The effect of fluoride application on fluoride release and the antibacterial action of glass ionomers. J Dent Res 72, 1310-1314 (1993)

Seppä L, Korhonen A, Nuutinen: Inhibitory effect on *S. mutans* by fluoride-treated conventional and resin-reinforced glass ionomer cements. Eur J Oral Sci 103, 182-185 (1995)

Seppä L, Salmenkivi S, Forss H: Enamel and plaque fluoride following glass ionomer application in vivo. Caries Res 26, 340-344 (1992)

Silverstone LM, Hicks MJ, Fejerskov MJ: Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. II. Surface morphology of sound enamel and carieslike lesions of enamel. Quintessence Int 19, 773-785 (1988)

Silverstone LM, Hicks MJ, Fejerskov MJ: Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. Part I. The dynamic nature of enamel caries. Quintessence Int 19, 683-711 (1988)

Smith DC: Development of glass-ionomer cement system. *Biomaterials* 19, 467-478 (1998)

Staehele HJ, Bößmann K: Experimentelle Untersuchungen über die antikariogene Wirkung von Glasionomerzement. *Dtsch Zahnärztl Z* 39, 532-534 (1984)

Staehele HJ, Ludwig K: Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen von Glasionomerzementen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung unter Berücksichtigung klinischer Befunde. *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 23-27 (1985)

Stephan RM: Intra-oral hydrogen-ion concentration on tooth surfaces and caries activity. *J Dent Res* 23, 257-266 (1944)

Stösser L: Fluorid zur Prävention der Milchzahnkaries. *Oralprophyl* 30, 17-25 (2008)

Strother JM, Kohn DH, Dennison JB, Clarkson BH: Fluoride release and re-uptake in direct tooth colored restorative materials. *Dent Mater* 14, 129-36 (1998)

Strubelt O: Fluoride aus zahnmedizinischer und toxikologischer Sicht. *Zahnärztl Prax* 40, 358 (1989)

Strübig W: Fluoridaufnahme im Zahnschmelz aus Glasionomerzementen. *Dtsch Zahnärztl Z* 43, 789-791 (1988)

Strübig W, Gülzow HJ: Fluoridgehalt verschiedener Teesorten. *Dtsch Zahnärztl Z* 36, 379 (1981)

Tam LE, Chan GP, Yim D: In vitro caries inhibition effects by conventional and resin-modified glass-ionomer restorations. *Oper Dent* 22, 4-14 (1997)

Ten Cate JM, van Duinen RNB: Hypermineralization of dentinal lesions adjacent to glass-ionomer cement restorations. *J Dent Res* 74: 1266-1271 (1995)

Ten Cate JM: Physiko-chemische Aspekte der Wechselwirkungen von fluoridiertem Schmelz und die Folgen für die Kariesprophylaxe. *Oralprophyl* 25, 18-20 (2003)

Treide A: Die In-vivo-Bestimmung der Fluoridkonzentration der oberflächlichen Schmelzschicht nach Anwendung einer fluoridhaltigen Zahnpasta. *Zahn-Mund-Kieferheilkd* 69, 233-240 (1981)

Toda S, Featherstone JD: Effects of fluoride dentifrices on enamel lesion formation. *J Dent Res* 87, 224-227 (2008)

Twetman S, McWilliam JS, Hallgren A, Oliveby A: Cariostatic effect of glass ionomer retained orthodontic appliances – an in vivo study. *Swed Dent J* 21, 169-175 (1997)

Vieira AR, de Souza IPR, Modesto A: Fluoride uptake and release by composites and glass ionomers in a high caries challenge situation. *Am J Dent* 12, 14-18 (1999)

von der Fehr F, Loe H, Theilade E: Experimental caries in man. *Caries Res* 4, 131-148 (1970)

Wahab FK, Shellis RP, Elderton RJ: Effects of low fluoride concentrations on formation of caries-like lesions in human enamel in a sequential-transfer bacterial system. *Arch Oral Biol* 38, 985 (1993)

Wandera A: In vitro enamel effects of a resin-modified glass ionomer: fluoride uptake and resistance to demineralization. *Pediatr Dent* 20, 411-417 (1998)

Weatherell JA, Deutsch D, Robinson C, Hallsworth AS: Assimilation of fluoride by enamel throughout the life of the tooth. *Caries Res* 11 (Suppl 1), 85-115 (1977)

Williams JA, Billington RW, Pearson GJ: The glass ionomer cement: the sources of soluble fluoride. *Biomaterials* 23, 2191-2200 (2002)

De Witte AMJC, de Maeyer EAP, Verbeeck RMH, Martens LC: Fluoride release profiles of mature restorative glass ionomer cements after fluoride application. *Biomaterials* 21, 475-482 (2000)

Zacherl DPH: A 3 year clinical caries evaluation of the effect of a sodium fluoride-silica abrasive dentrifice. *Pharmacol Ther Dent* 6, 1-7 (1981)

## 8 Anhang

### 8.1. Ergebnisse für KOH-lösliches Fluorid

Plättchen	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Kontr.	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Diff.	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$
A 1	0,32	0,46	-0,14
A 2	0,27	0,27	0,01
A 3	0,28	0,56	-0,27
A 4	0,80	0,56	0,25
A 5	0,34	0,24	0,10
A 6	0,39	0,28	0,11
A 7	0,51	0,28	0,23
A 8	0,35	0,39	-0,04
A 9	0,32	0,43	-0,11
A 10	0,59	0,16	0,43
<b>Mittelwerte</b>	<b>0,42</b>	<b>0,36</b>	<b>0,06</b>

**Tabelle 11: Gruppe A, Glasionomermertprobe und Schmelzprobe wurden nicht fluoridiert**

Plättchen	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Kontr.	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Differenz	
B 1	0,17	0,21	-0,04
B 2	0,24	0,22	0,01
B 3	0,83	0,20	0,64
B 4	0,51	0,36	0,15
B 5	0,41	0,31	0,10
B 6	0,12	0,09	0,02
B 7	0,62	0,26	0,36
B 8	0,47	0,15	0,33
B 9	0,19	0,17	0,01
B 10	0,84	0,15	0,69
<b>Mittelwerte</b>	<b>0,44</b>	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>

**Tabelle 12: Gruppe B, nur die Glasionomermertprobe wurde fluoridiert**

Plättchen	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Kontr.	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Differenz	
C 1	1,83	0,17	1,66
C 2	0,51	0,22	0,28
C 3	0,34	0,29	0,05
C 4	0,61	0,35	0,26
C 5	0,58	0,28	0,30
C 6	0,86	0,19	0,68
C 7	0,65	0,18	0,47
C 8	0,82	0,18	0,63
C 9	0,60	0,22	0,38
C 10	0,57	0,36	0,21
<b>Mittelwerte</b>	<b>0,74</b>	<b>0,24</b>	<b>0,49</b>

**Tabelle 13: Gruppe C, Glasionomermertprobe und Schmelzprobe wurden fluoridiert**

## 8.2. Ergebnisse für strukturell gebundenes Fluorid und Ätztiefen

Plättchen	ppm Fluorid	Kontrolle	Diff	Ätztiefe h	Ätztiefe Kontrolle
A 1	14464,77	7885,45	6579,32	0,89	2,10
A 2	8731,04	3615,04	5116,01	1,44	1,41
A 3	12769,9	6482,60	6287,30	1,58	1,10
A 4	8918,34	6473,81	2444,53	1,80	2,00
A 5	4553,72	3213,01	1340,71	1,73	2,05
A 6	12638,24	8043,73	4594,52	1,47	1,97
A 7	8753,31	8015,11	738,20	1,48	1,98
A 8	6911,70	5414,93	1496,77	1,68	1,62
A 9	8843,89	6564,74	2279,16	1,27	2,12
A 10	5951,67	1536,99	4414,67	2,15	2,25
<b>Mittelwerte</b>	<b>9253,66</b>	<b>5724,54</b>	<b>3529,12</b>	<b>1,55</b>	<b>1,95</b>

**Tabelle 14: Gruppe A, Glasionerzementprobe und Schmelzprobe wurden nicht fluoridiert**

B 1	2527,87	3353,59	-825,73	1,89	1,16
B 2	4296,30	3936,08	360,22	1,73	2,53
B 3	13530,09	7360,65	6169,44	1,86	2,11
B 4	10600,90	3541,00	7059,89	1,79	2,07
B 5	3607,61	4590,60	-982,99	1,23	1,87
B 6	5089,41	6006,41	-917,00	1,71	2,04
B 7	6051,43	8456,42	-2404,99	2,11	2,05
B 8	7021,29	3066,28	3955,01	2,03	2,53
B 9	4372,34	6580,35	-2208,01	1,61	2,42
B 10	7740,20	3881,41	3858,79	2,08	2,37
<b>Mittelwerte</b>	<b>6483,74</b>	<b>5077,28</b>	<b>1406,46</b>	<b>1,81</b>	<b>2,12</b>

**Tabelle 15: Gruppe B, nur die Glasionerzementprobe wurde fluoridiert**

C 1	8603,38	3489,86	5113,52	1,90	2,19
C 2	11089,65	3429,27	7660,38	1,72	1,99
C 3	6990,83	5506,72	1484,11	1,81	2,51
C 4	7892,03	8578,49	-686,46	1,35	1,73
C 5	9586,99	3943,56	5643,43	1,56	2,17
C 6	5067,01	2697,31	2369,69	2,09	2,43
C 7	10754,78	2422,83	8331,95	1,61	2,76
C 8	18262,32	2413,04	15849,28	0,86	2,77
C 9	11491,48	13466,04	-1974,56	1,39	2,10
C 10	14710,21	6077,08	8633,13	1,34	1,64
<b>Mittelwerte</b>	<b>10444,87</b>	<b>5202,42</b>	<b>5242,45</b>	<b>1,56</b>	<b>2,23</b>

**Tabelle 16: Gruppe C, Glasionerzementprobe und Schmelzprobe wurden fluoridiert**

### 8.3. Umgang mit der Fluoridelektrode

Die Elektrode, die für die Messungen benutzt wurde, verlangte eine konstante Raumtemperatur, die auf 26°C festgelegt wurde und maximal um 1°C differieren durfte.

Täglich wurde die Elektrode vorsichtig gereinigt, indem sie mit Aqua bidest. abgespült wurde und mit der dazugehörigen Elektroden-Flüssigkeit (Orion Ionalyzer 90-00-01) aufgefüllt wurde.

Täglich wurde vor Messbeginn die Elektrodensteilheit gemessen: Dazu wurden 25 ml Aqua bidest. und 25 ml TISAB II (Orion 94-09-09) Lösung in ein Becherglas gegeben, und die Elektrode wurde unter Rühren mit einem Magnetrührer in diese Lösung gehalten. Nun wurden 0,5 ml 100 ppm Fluoridstandard (Orion Fluorid-Standard 100 ppm) dazugegeben, und nach 8 min wurden die relativen mV abgelesen und notiert. Anschließend kamen 5 ml 100-ppm-Fluoridstandardlösung hinzu und wiederum wurde nach 8 min Messung der Messwert notiert. Die Differenz zwischen dem ersten und zweiten Messwert sollte bei 26°C 54-60 mV betragen. Anderenfalls mussten Fehler ausgeschlossen und die Messung der Steilheit wiederholt werden.

Während längerer Messpausen, d.h. z.B. über Nacht, wurde die Elektrode in einer entsprechenden Aufbewahrungslösung gelagert (Orion pH-Electrode Storage Solution 910001).

## **Danksagung**

Mein ganz besonders herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Ulrich Schiffner für die Überlassung des Themas und die stets sehr hilfreiche Unterstützung in allen Fragen, die während des Erstellens der Arbeit und des Versuches auftraten. Für die freundliche Unterstützung im biochemischen Labor danke ich Herrn Fischer, Frau Bosch und Frau Susanne Effenberger. Für die tatkräftige Mitarbeit bei der Versuchsdurchführung danke ich Dr. Inke Kohrmeyer und Herrn Hauke Kleinen. Ausserdem danke ich Familie und Freunden, die mich nicht nur während des Studiums großartig unterstützt haben.



## **Lebenslauf**

Am 01.10.1977 wurde ich, Julia Jensen, Tochter von Günter Jensen und Angela Jensen-Markhoff, in Hamburg geboren. Von 1984 bis 1988 besuchte ich die Grundschule Nydamer Weg in Hamburg, von 1988 bis 1997 das Gymnasium Oldenfelde in Hamburg.

Von 1998 bis 2000 studierte ich Medizin an der Universität Hamburg. Bevor ich 2000 das Studium der Zahnmedizin an der Universität Hamburg aufnahm, absolvierte ich die medizinische Vorprüfung. Von 2000 bis 2004 folgte das Studium der Zahnmedizin, welches ich im Juli 2004 mit dem Staatsexamen abschloss. Im August 2004 erhielt ich die Approbation als Zahnärztin.

Meine Beschäftigungen als Ausbildungsassistentin waren: 01.12.2004 - 31.07.2005 Praxis Dr. F. Ellinger, Stuttgart; 01.08.2005 - 28.02.2006 Praxis B. Groß, Hamburg; 01.03.2006 - 31.05.2007 Praxis Dr. T. Roloff und M. Quick-Arntz, Hamburg.

Seit 01.06.2007 bin ich als angestellte Zahnärztin in der Praxis Dr. T. Roloff und M. Quick-Arntz in Hamburg tätig.

## **Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe

.....